

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
PROSESSI- JA MATERIAALITEKNIIKAN OSASTO
PUUNJALOSTUSTEKNIIKAN LAITOS

ILKKA TARVAINEN

VANERIN KÄYRISTYMINEN

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 4.3.1993

Työn valvoja: va prof. Marketta Sipi
Työn ohjaaja: DI Aimo Väänänen

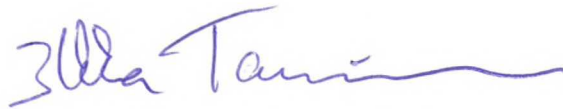
Tekijä:	Ilkka Tarvainen		
Työn nimi:	Vanerin käyristyminen		
päivämäärä:	4.3.1993	Sivumäärä:	86
Osasto:	Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto		
Laitos:	Puunjalostutekniikan laitos		
Professuuri:	Puu-28 Puun mekaaninen teknologia		
Työn valvoja:	va prof. Marketta Sipi		
Työn ohjaaja:	DI Aimo Väänänen		
<p>Työn tavoitteena oli löytää tärkeimmät vanerin käyristymiseen vaikuttavat tekijät ja kokeiden tulosten perusteella esittää parannusehdotuksia käyristymisen hallitsemiseksi tuotannossa.</p> <p>Kirjallisuusosassa selvitetään vanerin käyristymiseen liittyviä käsitteitä ja sanastoa, standardeja sekä aihepiiristä jo tehtyjä tutkimuksia. Lukuun "Standardit" on koottu kaikki löydetty standardit, jotka liittyvät vanerin käyristymiseen ja sen mitausmenetelmiin. Luvussa "Vanerin käyristymisestä tehty tutkimukset" esitetään tärkeimmät aihepiiristä tehty tutkimukset ja niiden tärkeimmät tulokset. Kirjallisuusosan lopussa on lyhyesti esitelty teoriaa puun tasapainokosteuden määrittämiseksi.</p> <p>Työn kokeellinen osa jaettiin kolmeen osaan: tehdaskokeet, laboratorioskokeet ja täydentävät kokeet. Tehdaskokeissa valmistettiin koelevyt, joiden käyristymistä tutkittiin. Kokeissa tutkittiin vanerin käyristymistä tehdasolosuhteissa. Laboratorioskokeissa tutkittiin vanerin käyristymistä eri kosteusolosuhteissa: RH 50 %, RH 80 % ja RH 30 %. Tehdaskokeiden lisäksi tehtiin täydentävät kokeet.</p> <p>Työn tulokset esitetään kokeellisen osan mukaisessa järjestyksessä. Tulosten tarkastelussa pyritään analysoimaan ja vertailemaan eri koelevyjen tuloksia, sekä löytämään tärkeimmät vanerin käyristymiseen vaikuttavat tekijät. Työn lopussa käsitellään eri tekijöiden vaikutusta vanerin käyristymiseen sekä pohditaan keinoja vanerin käyristymisen vähentämiseksi tuotannossa.</p>			

Author:	Ilkka Tarvainen		
Title:	Warping of Plywood		
Date:	4.3.1993	Pages:	86
Faculty:	Faculty of Process Technology and Material Science		
Department:	Department of Forest Products		
Laboratory:	Laboratory of Mechanical Wood Technology		
Supervisor:	Prof. Marketta Sipi		
Instructor:	Aimo Väänänen, M.Sc. (Eng.)		
Abstract: This research aimed at finding the most important reasons for warping of plywood, and in addition to that, to also find improvements to control warping in production. In the literary study, vocabulary, concepts, standards and researches, done earlier on of warping of plywood, are explained. All standards, related to warping of plywood and methods to measure it, have been gathered. The most important researches made earlier, and results of them are also included. The experimental part of the research was divided in three parts: factory experiments, laboratory experiments and additional experiments. In the factory experiments the boards to be tested, were manufactured. In the laboratory experiments warping of plywood was studied in different conditions of relative humidity: RH 50 %, RH 80 % and RH 30 %. When analysing different test boards, results are compared, and on the basis of them, the most important reasons for warping of plywood are being studied. At the end of the research, different factors of warping are reviewed, and improvements of decreasing it in production are suggested.			

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Schauman Wood Oy:n Joensuun tehtail-
la sekä osittain Savonlinnassa tuotekehitysosastolla. Diplomityön
valvojana toimi professori Marketta Sipi ja ohjaajana diplomi-
insinööri Aimo Väänänen. Haluan osoittaa heille parhaat kiitokse-
ni saamistani neuvoista ja ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää
diplomi-insinööri Tiina Liesiötä Schauman Wood Oy:n markki-
nointiosastolta häneltä saamistani arvokkaasta avusta. Esitän
kiitokseni myös Joensuun tehtaiden ja Savonlinnan tuotekehityk-
sen henkilökunnalle kaikesta saamistani avusta. Lopuksi kiitän
vaimoani Johannaä kaikesta tuesta ja kaksostytöistä, joiden odo-
tus vauhditti työni valmistumista.

Espoossa 14.3.1993



Ilkka Tarvainen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. KIRJALLISUUSOSA	2
2.1. Käsitteet ja sanasto vanerin käyristymisestä	2
2.2. Standardit	3
2.2.1. SIS 83 01 10	3
2.2.2. SFS 4371	6
2.2.3. NBR F 12/79	6
2.2.4. BS 6566: Part 4: 1985	8
2.2.5. BS 4965: 1991	8
2.2.6. GOST 8673-82	9
2.2.7. TGL 23 037	10
2.3. Vanerin käyristymisestä tehdyt tutkimukset	12
2.3.1. Vanerin käyristymistutkimus (Schauman 1990)	12
2.3.2. Käyristymisen simulointi tietokoneella	16
2.3.3. Vanerin käyristyminen kosteuden vaihdellessa	19
2.3.4. Sekavanerin eläminen	22
2.3.5. Muotonsa pitävien vanerikomponenttien valmistus	23
2.3.6. Kosteuden vaikutus vanerin muodonmuutoksiin	25
2.3.7. Pinnoitettujen levyjen käyristyminen	28
2.3.8. Liiman vaikutus vanerin muotopysyvyyteen	30
2.4. Puun tasapainokosteus	31
3. KOKEELLINEN OSA	33
3.1. Kokeellisen osan sisältö	33
3.2. Valmistetut koelevyt	33
3.2.1. Koelevyjen ominaispiirteitä	35
3.3. Tehdaskokeet	36
3.3.1. Käyryystutkimus	36
3.3.2. Käyristymisen oikaisun tutkiminen	37
3.3.3. Levyjen paloittelun vaikutus käyristymiseen	37
3.3.4. Levyjen kosteus kuumapuristimen jälkeen	37
3.3.5. Kosteus- ja lämpötilaseuranta	37
3.4. Laboratoriokokeet	38
3.5. Mittaukset	39
3.5.1. Käyryysmittaukset	39
3.5.2. Kosteusmittaukset	42
3.6. Täydentävät kokeet	42

4. TULOKSET	44
4.1. Tehdaskokeet	44
4.1.1. Viilujen kosteudet	44
4.1.2. Levyjen käyryys heti valmistuksen jälkeen	44
4.1.3. Levyjen käyryys tasaannutuksen jälkeen	46
4.1.4. Valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeisten tulosten vertailu	48
4.1.5. Oikaisukokeen tulokset	51
4.1.6. Paloittelukokeen tulokset	53
4.1.7. Levyjen kosteus kuumapuristimen jälkeen	55
4.1.8. Viilun ja vanerin kosteus eri olosuhteissa	57
4.1.9. Kosteus- ja lämpötilaseuranta	59
4.2. Laboratoriokokeet	61
4.3. Täydentävät kokeet	64
5. TULOSTEN TARKASTELU	67
5.1. Tehdaskokeet	67
5.1.1. Viilujen kosteudet	67
5.1.2. Levyjen käyryys heti valmistuksen jälkeen	67
5.1.3. Levyjen käyryys tasaannutuksen jälkeen	68
5.1.4. Valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeisten tulosten vertailu	70
5.1.5. Oikaisukoe	70
5.1.6. Paloittelukoe	70
5.1.7. Levyjen kosteus kuumapuristimen jälkeen	71
5.1.8. Viilun ja vanerin kosteus eri olosuhteissa	72
5.1.9. Kosteus- ja lämpötilaseuranta	73
5.2. Laboratoriokokeet	75
5.3. Täydentävät kokeet	76
5.4. Raaka-aineen vaikutus käyristymiseen	77
5.5. Liiman vaikutus käyristymiseen	78
5.6. Viilun paksuuden vaikutus käyristymiseen	78
5.7. Ladontatavan vaikutus käyristymiseen	79
5.8. Levyn sisäisten kosteuserojen vaikutus käyristymiseen	79
5.9. Levyn paksuuden vaikutus käyristymiseen	80
5.10. Levyn pinnoituksen vaikutus käyristymiseen	80
5.11. Käytettyjen mittausmenetelmien analysointi	81
6. YHTEENVETO	82
7. KIRJALLISUUSLUETTELO	85
LIITTEET	

1. JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena oli löytää tärkeimmät vanerin käyristymiseen vaikuttavat tekijät ja samalla etsiä keinoja sen vähentämiseksi tuotannossa.

Kirjallisuusosassa selvitetään vanerin käyristymiseen liittyviä käsitteitä ja sanastoa, standardeja sekä aihepiiristä jo tehtyjä tutkimuksia. Lukuun "standardit" on koottu kaikki löydetty standardit, jotka liittyvät vanerin käyristymiseen ja sen mittausmenetelmiin. Luvussa "vanerin käyristymisestä tehdyt tutkimukset" esitetään tärkeimmät aihepiiristä tehdyt tutkimukset ja niiden tuloksia. Kirjallisuusosan lopussa on lyhyesti esitelty teoriaa puun tasapainokosteuden määrittämiseksi.

Työn kokeellinen osa jaetaan kolmeen osaan: tehdaskokeet, laboratoriokokeet ja täydentävät kokeet. Kokeita varten valmistettiin erilaisia koelevyjä, joiden avulla tutkittiin levyjen käyristymistä tehdasolosuhteissa. Laboratoriokokeissa tutkittiin vanerin käyristymistä eri kosteusolosuhteissa. Tehdaskeet tehtiin Schauman Wood Oy:n Joensuun tehtailla ja laboratoriokokeet Savonlinnassa tuotekehitysosastolla.

2. KIRJALLISUUSOSA

2.1. Käsitteet ja sanasto vanerin käyristymisestä

Suomen Vaneriyhdistys on laatinut sanaston, joka käsittelee vanerituotteita. Sanasto on laadittu standardien SFS 2290 ja ISO 2074 pohjalta. Ohessa selvitetään vanerin käyristymiseen liittyvät käsitteet ja sanasto. Suluissa on käsitteet myös englanniksi, ranskaksi, ruotsiksi ja saksaksi. /1./

a) Muodonmuutos (deformation, déformation, deformation, Verzogenes Sperrholz)

- vanerituotteen tasossa ilmenevä käyristyminen.

b) Kaarevuus (warping, voilement, böjning, Einfache Krümmung)

- vanerituotteessa ilmenevä, tavallisesti säännöllinen muodonmuutos, jonka johdosta koko levy tai osa siitä kaareutuu lieriömäisesti.

c) Pitkittäiskaarevuus (longitudinal warping (bow), voilement longitudinal, längsgående böjning, Längskrümmung)

- vanerituotteen pituussuunnassa ilmenevä kaareutuminen.

d) Poikittaiskaarevuus (transverse warping (cup), voilement transversal, tvärgående böjning, Querkrümmung)

- vanerituotteen poikittaissuunnassa ilmenevä kaareutuminen.

e) Kaksoiskaarevuus (disk, déformation en cuvette, dubbelböjning, krümmung in beiden Richtungen)

- vanerituotteen pituus- ja poikittaissuunnassa samanaikaisesti ilmenevä kaareutuminen.

f) Kieroutuminen (twisting, gauchissement, skevning, Windschiefe Platte)

- vanerituotteen useampaan suuntaan ilmenevä kierteinen käyristyminen.

g) **Aaltomaisuus** (waviness, gondolement, vågformighet ("tvättbräde"), Gewellte Platte)

- vanerituotteessa ilmenevä aaltomainen käyristyminen.

2.2. Standardit

Tähän lukuun on koottu kaikki löydetty standardit, jotka liittyvät vanerin (tai puulevyjen) käyristymiseen ja sen mittausmenetelmiin.

2.2.1. SIS 83 01 10

Tässä ruotsalaisessa standardissa kuvataan menetelmät sisustuskalusteiden mitta-, kulma- ja muotopoikkeavuuden määrittämiseksi. Menetelmiä yhdistävät peruseräpäätökset, jotka on laadittu rakennustarvikkeiden toleransseille (SIS 05 02 12) sekä yleisille mittausmenetelmille (SIS 02 11 02). Standardin menetelmät soveltuvat levymuotoisten esineiden, kuten esimerkiksi istuin- sekä hyllylevyjen mittaamiseen. Standardin mukaan mittauspisteet mitattavan levyn kulmissa asetetaan niin lähelle levyn kulmia kuin mahdollista. Mitattavia levyjä tulee säilyttää vähintään viikon ajan olosuhteissa, jossa ilman lämpötila on 21-25 C° ja suhteellinen kosteus 45-55 %. Levyjen mittaus suoritetaan tasomaisella mittauspöydällä. /2./

Tasopoikkeamat (kierous ja mutkaisuus) määritellään tasomaisilta pinnoilta seuraavien menetelmien mukaan:

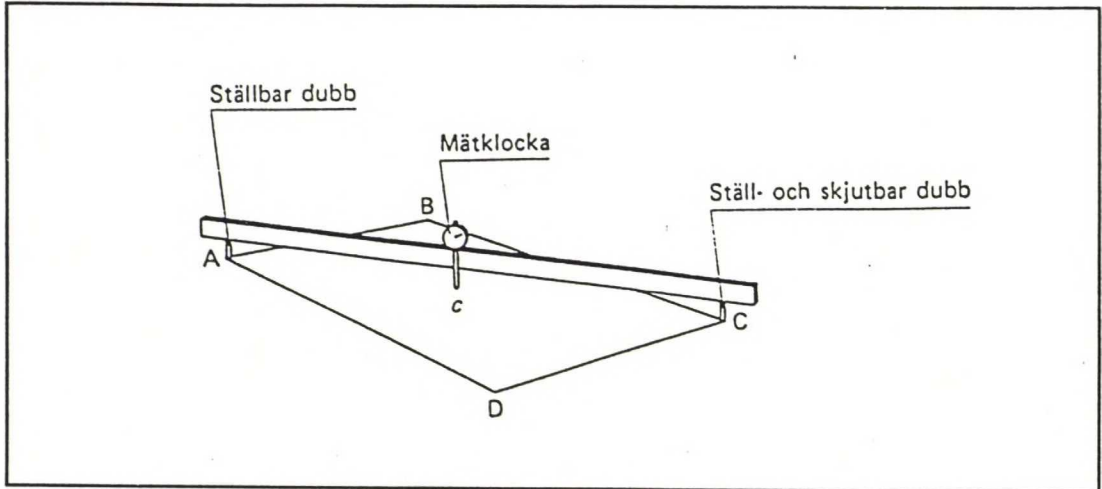
- kierous (skevhet) menetelmä 1
- kierous (skevhet) menetelmä 2
- mutkaisuus (buktighet) menetelmä 1
- mutkaisuus (buktighet) menetelmä 2

Molemmissa menetelmissä, joissa määritetään levyn kieroutta, mitataan periaatteessa samaa eroa pinnan tasomaisuudessa ja saadut tulokset ovat näin ollen vertailukelpoisia. Menetelmissä, joissa määritetään levyn mutkaisuutta, saadut tulokset eivät ole vertailukelpoisia, jos levyn kierouden arvoksi saadaan eri suuri kuin 0. /2./

Kierous menetelmän 1 mukaan määritellään kuvan 1 esittämällä tavalla. Mittari, jonka avulla kierous mitataan, koostuu suorasta mittarungosta, mittakellosta sekä kahdesta tukijalasta. Tukijalat ovat saman korkuisia ja mittakello on asennettu tukijalkojen keskivälille. A, B, C ja D tarkoittavat tutkittavan levyn kulmapisteitä. Levy mitataan sekä kulmien A ja B että kulmien B ja D muodostamasta linjasta (ristimitat). Kulmien A ja B muodostaman linjan

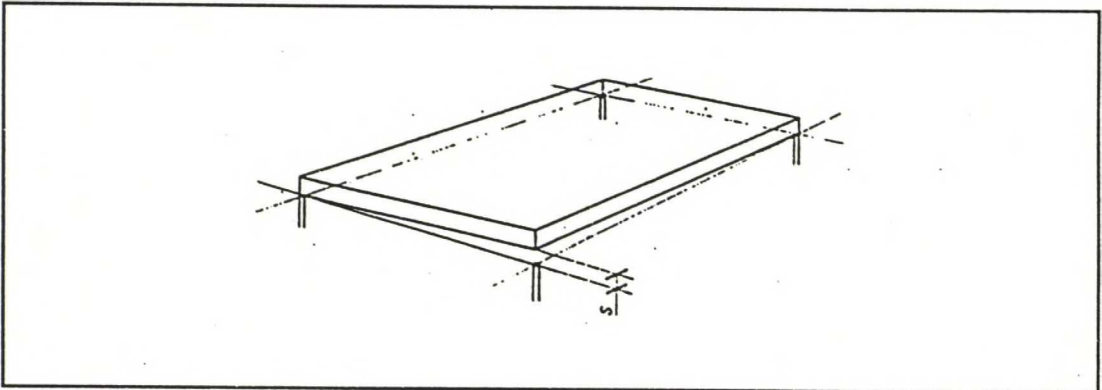
keskiväliltä mitataan linjan etäisyys c tasosta. Kulmien B ja D muodostaman linjan keskiväliltä mitataan linjan etäisyys d tasosta. Kierous s saadaan laskettua kaavalla:

$$s = 2(c-d) \quad (1)$$



Kuva 1. Kierous menetelmän 1 mukaan. /2./

Kierous menetelmän 2 mukaan määritellään kuvan 2 esittämällä tavalla. Levy, jonka kieroutta määritetään, asetetaan kuvan 2 mukaisesti neljälle tukijalalle. Tukijalat ovat yhtä pitkät ja ne muodostavat kuvitellun tason. Mitattava levy asetetaan tukien päälle. Levyn ollessa kiero, se lepää tällöin kolmen tukijalan varassa. Neljännen levyn kulman etäisyys s mitataan tasosta. Etäisyys s ilmoittaa levyn kierouden.



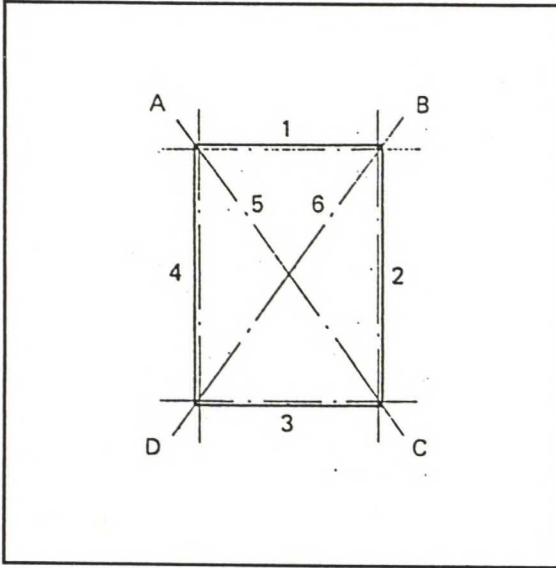
Kuva 2. Kierous menetelmän 2 mukaan. /2./

Levyn mutkaisuus menetelmän 1 mukaan määritetään asettamalla tutkittava levy mittauspöydälle vaakasuoraan asentoon. Kuvassa 3 on esitetty levyn mutkaisuuden mittauslinjat. Mittaviivain asetetaan tukijalkoineen eri kulmapisteisiin kuvan 3 mukaisessa järjestyksessä (1-6). Tukijaloille saadaan seuraavat pituudet:

- tuki A ja C saavat pituuden $a-(c-d)/2$ (2)
- tuki B ja D saavat pituuden $a+(c-d)/2$ (3)

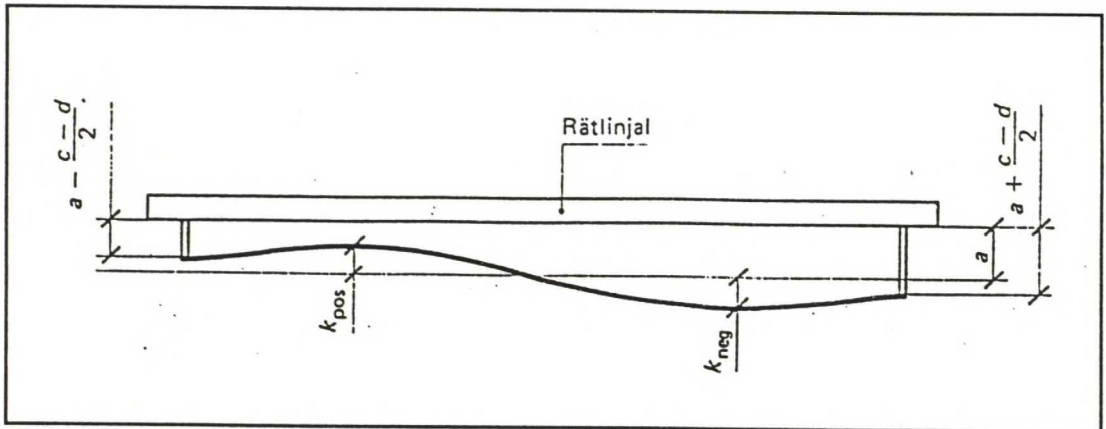
a = tukijalan pituus ja c sekä d vastaavat menetelmän 1 (kierous) arvoja.

Jokaiseen kuuden mittaussinjan (AB, BC, CD, DA, AC ja BD) pienin ja suurin ero mittaustasosta määritetään.



Kuva 3. Mittauslinjat mutkaisuuden määrittämiseksi menetelmän 1 mukaan. /2./

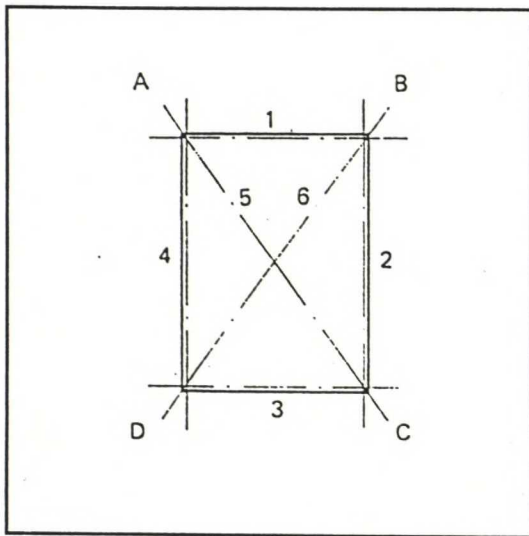
Mutkaisuuden arvoksi k saadaan tukijalan pituuden a ja etäisyyksien (tasosta) ero. Mutkaisuus k saa positiivisen arvon, jos mitattava levy on kupera ja päinvastoin. Suurin positiivinen ja negatiivinen mutkaisuus (k_{pos} ja k_{neg}) määritetään.



Kuva 4. Mutkaisuuden määrittäminen menetelmän 1 mukaan, kuva esittää mitattavan levyn reunaa. /2./

Levyn mutkaisuus menetelmän 2 mukaan määritetään siten, että mitattava levy asetetaan mittapöydälle. Mutkaisuus määritetään

mittaviivaimen avulla, jossa on kaksi yhtä pitkää tukijalkaa. Toinen tukijaloista on siirrettävä. Mittaviivain asetetaan tukijalkoineen eri kulmapisteisiin kuvan 5 mukaisesti. Jokaisen mittaustasolinjan suurin ja pienin ero mittaustasosta määritetään. Levyn mutkaisuuden arvoksi saadaan tukijalkojen muodostaman linjan ja mittaustuloksen ero. Mutkaisuus k saa positiivisen arvon, jos mitattava levy on kupera ja päinvastoin. Suurin positiivinen ja negatiivinen mutkaisuus (k_{pos} ja k_{neg}) määritetään.



Kuva 5. Mittauslinjat mutkaisuuden määrittämiseksi menetelmän 2 mukaan. /2./

2.2.2. SFS 4371

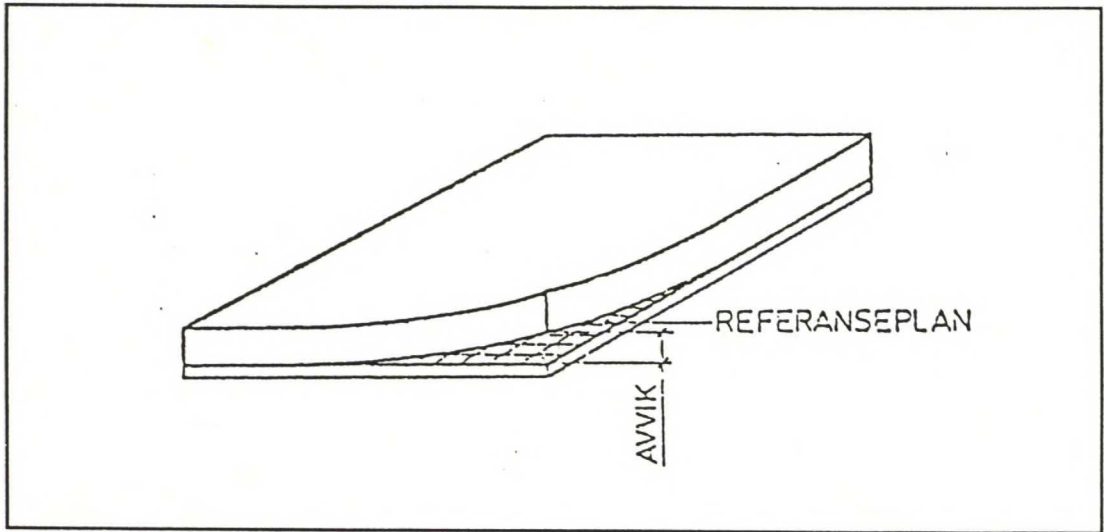
Tämä suomalainen standardi (SFS 4371) on tarkoitettu huonekaluille ja kalusteille. Se käsittelee materiaalin laatua ja valmistustarkkuutta.

Standardin kohdassa tasomaisuus, viitataan ruotsalaiseen standardiin SIS 83 01 10. Vinous määritetään kohdassa 5.5.1 menetelmän 2 mukaisesti ja käyryys kohdassa 5.5.2 menetelmän 2 mukaisesti. Vaakasurat pinnat mitataan vaaka-asennossa ja pystysurat pinnat pystyasennossa. /3./

2.2.3. NBR F 12/79

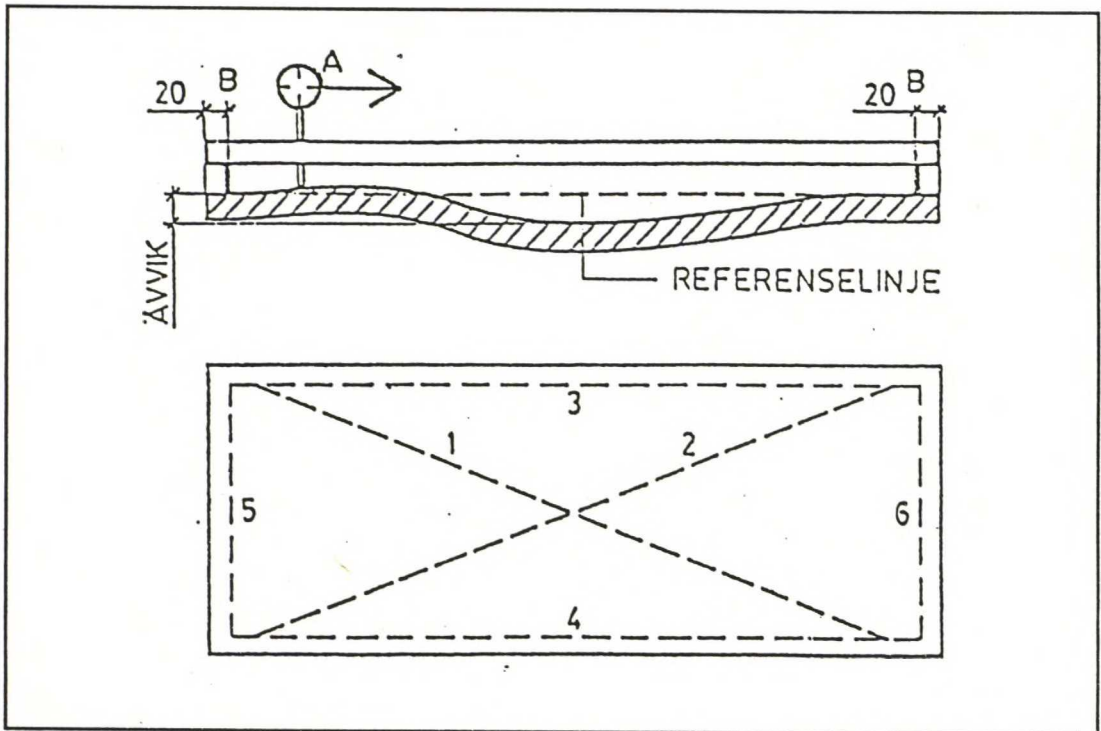
Tämä on norjalainen ehdotus standardiksi, joka käsittelee pintojen suorakulmaisuutta ja tasomaisuutta.

Levyn vinous (kierous) määritetään siten, että tutkittava levy asetetaan mittaustasolle (mittauspöydälle). Kolme levyn kulmaa asetetaan mittaustasoa vasten ja neljännen kulman etäisyys siitä määritetään kuvan 6 mukaisesti. /4./



Kuva 6. Levyn vinouden määrittäminen. /4./

Levyn mutkaisuus määritetään kuvan 7 mukaisesti. Kuvassa on esitetty mittauslinjat 1-6. Mittauslaite asetetaan vuorotellen kullekin mittauslinjalle ja suurin ero (avvik, positiivinen tai negatiivinen) mittaustasosta (referenssinlinje) otetaan huomioon. /4./



Kuva 7. Levyn mutkaisuuden määrittäminen. A on siirrettävä mittakello, B tarkoittaa kiinteitä tukijalkoja. /4./

2.2.4. BS 6566: Part 4: 1985

Tämä englantilainen standardi esittää vaatimukset vanerilevyjen toleransseille. Standardin kohdassa "tasomaisuus" ilmoitetaan, ettei standardi määrää vaatimuksia levyn tasomaisuudelle. Samassa kohdassa selitetään mittaamenetelmä vanerilevyn käyryden määrittämiseksi. /5./

Levy mitataan pystyasennossa (vapaasti) siten, että levyn lyhyempi sivu on pystysuorassa. Mittaus suoritetaan tasaisella mittausalustalla. Käyryyden mittaamiseen käytetään joko suoraa metallireunaista viivainta tai ohutta mittanaru. Mittauslinjoja on yhteensä kuusi. Levy mitataan leveyssuunnassa kolmesta kohdasta siten, että viivain (tai mittanaru) asetetaan kohtisuoraan levyn yläosan, alaosan ja keskiosan yli. Levy mitataan pituus-suunnassa kolmesta kohdasta siten, että viivain (tai mittanaru) asetetaan kohtisuoraan levyn vasemman reunan, oikean reunan ja keskiosan yli. Linjalla oleva suurin poikkeama määritetään. Poikkeaman suuruus mitataan mittanauhalla ja mittaustarkkuus on 1 mm. /5./

Ohuet levyt, jotka ovat vaikeasti mitattavia (levyn oma paino vääristää tulosta mitattaessa pystyasennossa), mitataan tasomaisella alustalla vaakasuorassa. Levy asetetaan mittaustasolle. Sen kulmien, sekä levyn reunan keskikohdan ja mittaustason välinen etäisyys määritetään, samalla kun levyn keskiosa pakotetaan mittaustasoon kiinni. Kaikista levyn reunoista tehdään vastaavat mittaukset. Levy käännetään ja vastaavat mittaukset tehdään levyn toiselta puolelta. Suurimmat poikkeamat huomioidaan. /5./

2.2.5. BS 4965: 1991

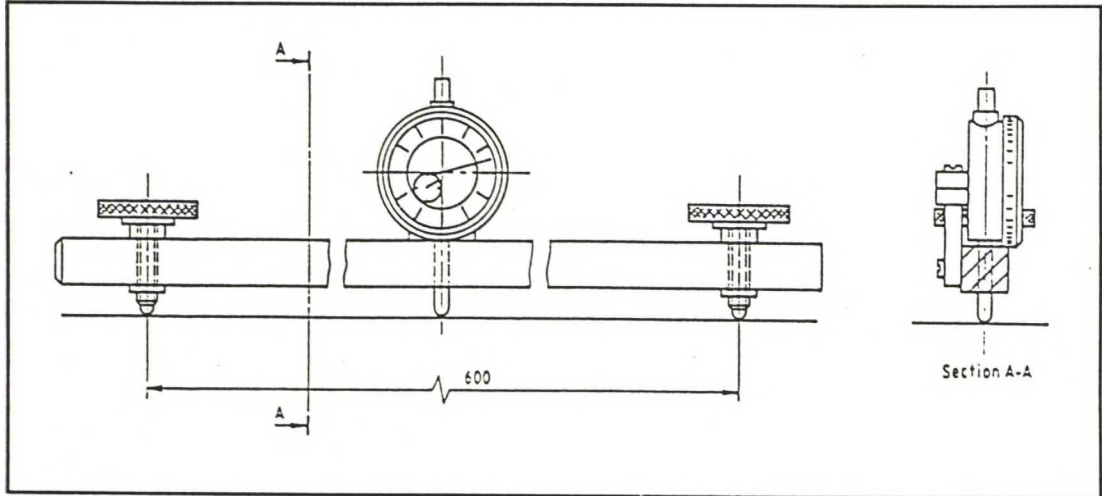
Tämä englantilainen standardi esittää vaatimukset pinnoitetuille puulevyille.

Standardin kohdassa "tasomaisuus" (flatness) esitetään kaksi menetelmää levyn tasomaisuuden määrittämiseksi. Levyn tasomaisuus voidaan määrittää joko menetelmän A tai menetelmän B mukaan. Tutkittavien levyjen paksuus tulee olla 12 mm tai suurempi. /6./

Menetelmässä A, levyn tasomaisuus määritetään metalliviivaimen (jossa voi olla siirrettävä mittakello) avulla. Viivain asetetaan sellaiseen mitattavan levyn kohtaan, jossa tasomaisuuden poikkeama on suurin. Testattavien levyjen tulee olla täysimittaisia. Kevytmetalliviivaimen pituus on 600 ± 1 mm. Menetelmän A mukaan suurin sallittu poikkeama tasomaisuudessa saa olla kor-

keintaan 1 mm. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki mittaviivaimesta. /6./

Valmistettujen levyjen tulee antaa olla vähintään 48 tuntia taantumassa mittaushuoneen kosteudessa ja lämpötilassa. Tutkittava levy asetetaan vapaasti kovera pinta ylöspäin tasomaiselle mittausalustalle. Tasomaisuus määritetään mittaviivaimen avulla. Mittaustarkkuus 0,5 mm. /6./



Kuva 8. Sopiva mittausväline tasomaisuuden määrittämiseksi. /6./

Menetelmässä B levyn tasomaisuus määritetään mittalangan (tai mittaviivaimen) avulla. Levyn kulmiin asetetaan yhtä paksut vaneripalat, joiden yli kulmasta kulmaan mittalanka viritetään tiukasti yli mittaustiljan. Kunkin mittaustiljan suurin poikkeama tasosta määritetään mittaammalla ero 0,5 mm tarkkuudella. Mittaustuloksia määriteltäessä, käytettyjen vaneripalojen paksuus huomioidaan. Tuloksissa ilmoitetaan, onko levy mittaustiljassa kovera vai kupera. /6./

Valmistettujen levyjen tulee antaa olla vähintään 48 tuntia taantumassa mittaushuoneen kosteudessa ja lämpötilassa. /6./

Standardissa on huomautettu siitä, että monet tekijät kuten kosteus- ja lämpötilamuutokset saattavat aiheuttaa levyjen käyristymistä ja kieroutumista. Tämän takia standardin vaatimukset ovat voimassa vain levyjen toimitusten ajan. /6./

2.2.6. GOST 8673-82

Tämä standardi on SNTL:n (Neuvostoliitto) valtiollinen standardi. Standardi käsittää vanerilevyt, jotka on valmistettu seitsemästä tai tätä suuremmasta määrästä viilukerroksia synteettisiä hartsi-liimoja käyttäen. Taulukossa 1 on esitetty vaatimukset vanerilevyn käyryydelle. /7./

Taulukko 1. Vaatimukset vanerilevyn käyryydelle. /7./

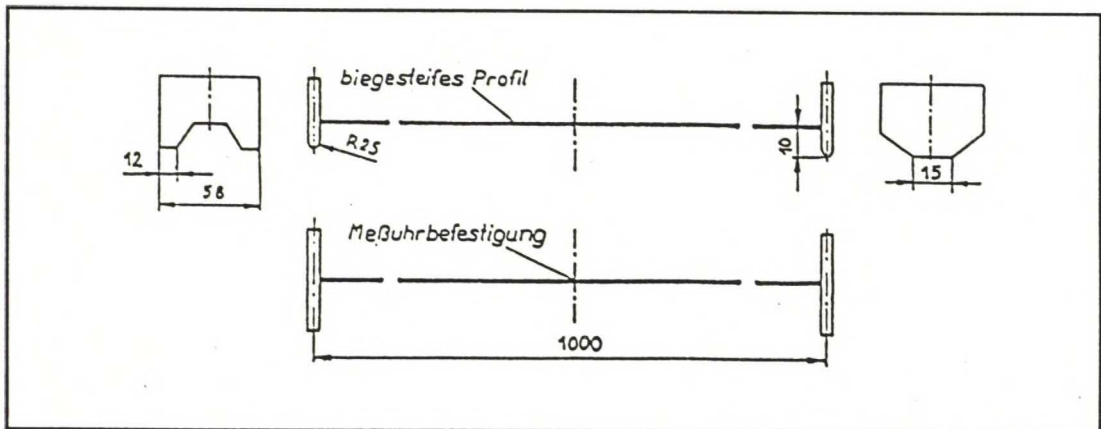
<u>Laatu</u>	<u>Paksuus (mm)</u>	<u>Käyryys (mm/m)</u>
PF-A	15, 20	3,0
PF-A	25, 30	2,5
PF-A	45	2,0
PF-B	kaikki paksuudet	2,5
PF-V	8, 12, 15	5,0
PF-V	22, 26, 30	3,0

Standardin kohdassa 4.11 käsitellään vanerilevyn käyryyttä. Vanerilevyn käyryys määrätään mittaamalla käyryys, kun levy on sijoitettu vapaasti vaakatasolle. Käyryys mitataan 0,5 mm tarkkuudella levyn lävistäjän suuntaan asetetulla viivaimella. Käyryys ilmoitetaan lävistäjän yhtä pituusmetriä kohti. Viivaimen pituuden tulee olla suurempi kuin levyn lävistäjän. /7./

2.2.7. TGL 23 037

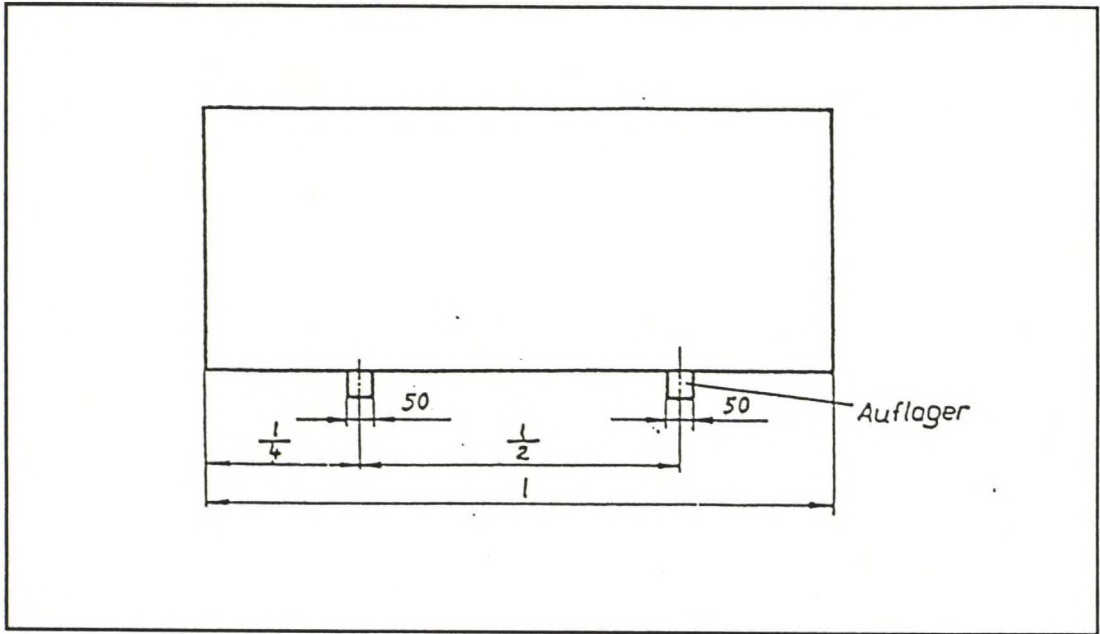
Standardi on Itä-Saksalainen (DDR) ja se on tarkoitettu lastu- ja kuitulevyille, joiden nimellispaksuus on yhtä suuri tai suurempi kuin 16 mm. Standardi käsittelee levyjen käyryyden määrittämistä. /8./

Mittalaite on yhden metrin pituinen viivain, joka on toisesta päästään tuettu yhdellä jalalla ja toisesta kahdella jalalla (kuva 9).



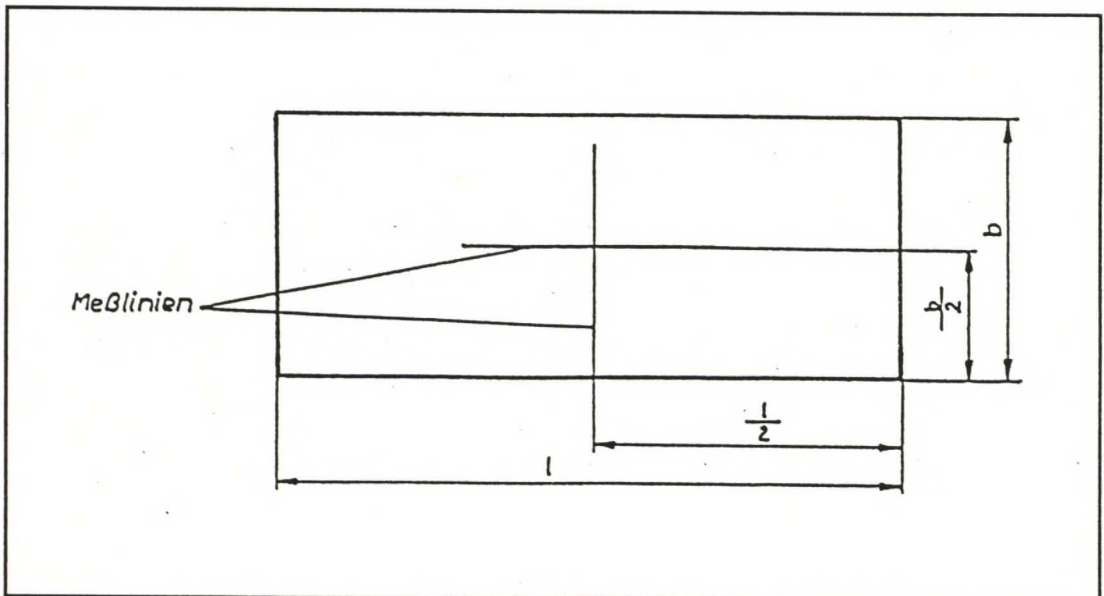
Kuva 9. Periaatekuva mittalaitteesta. /8./

Mitattavan levyn pituuden tulee olla vähintään 1200 mm. Levyt mitataan vapaasti pystyasennossa kuvan 10 mukaisesti.



Kuva 10. Mittaus pystyasennossa tukien päällä /8./

Levyn pinnan mittauspisteen poikkeama mittalaitteen kolmen tukipisteen määrittelemästä tasosta määritetään. Levyistä mitataan levyn pitkän sivun suuntaisen akselin kolmen eri pisteen (mittauslinjan suurin poikkeama) poikkeamat levyn pituus- ja leveyssuunnassa kuvan 11 mukaisesti. Pituussuuntainen käyryys mitataan asettamalla mittaviivotin levyn pitkän sivun suuntaisesti ja leveyssuuntainen käyryys asettamalla mittaviivotin levyn lyhyen sivun suuntaisesti. Mittaustarkkus on 0,1 mm. /8./



Kuva 11. Mittauslinjat. /8./

2.3. Vanerin käyristymisestä tehdyt tutkimukset

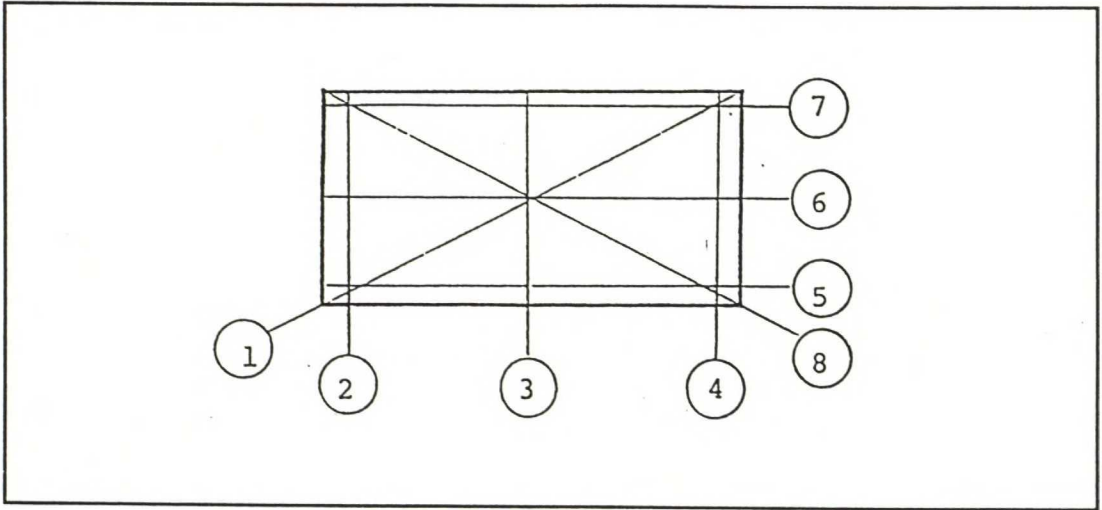
2.3.1. Vanerin käyristymistutkimus (Schauman 1990)

Tutkimuksen /9./ teki insinööri Hannu Kemppainen. Sen tavoitteena oli selvittää käyristymisen syitä ja esittää toimenpiteitä, joilla sitä voitaisiin vähentää.

Eri tekijöiden vaikutusta käyristymiseen tutkittiin liimaamalla 12 mm levyjä koossa 1300 x 2540 mm, jotka ennen mittausta sahatettiin, muttei hiottu. Kutakin tyyppiä liimattiin kolme levyä. Pääosa kokeista tehtiin peilikuva-rakenteella käyttäen 2600-liimaviilua, jotta mahdollisesti jatkamisesta syntyneet kuivumiset eliminoidaisiin. Valmistettujen koelevyjen muuttujat:

1. Viilun aaltomaisuuden vaikutus
2. a) Pintaviilun kosteuden vaikutus
 - pinnoilla n. 4 %:n kosteusero.
2. b) Liimaviilun kosteuden vaikutus
 - levyn toisen puolen kaksi liimaviilua n. 4 %:a kosteammat kuin toisen puolen liimaviilut.
3. Oksaisuuden vaikutus
4. Värivian vaikutus
5. Liiman levityksen vaikutus
 - liimaviilun toiselle puolelle ylisuuri ja toiselle puolelle pieni liimanlevitys.
6. Ylikostean viilun vaikutus
7. Vertailumittaus 1.
 - mitattiin 20 normaalituotannon levyä.
8. Vertailumittaus 2.
 - levyn kaikki viilut S-laatua.
 - levyn kaikki viilut S-laatua, viilut käännetty ladottaessa symmetrisesti sorvaushalkeamien suhteen.

Kokeet tehtiin normaaleissa tehdasolosuhteissa. Levyjen valmistuksen jälkeen levyt varastoitiin 2-4 viikoksi välirimoitettuina lappeelleen. Ennen mittausta levyt olivat viikon pystyasennossa vapaasti ilmatilassa. Levyn käyristyminen mitattiin kuvan 12 mukaisesti kahdeksasta eri linjasta viivaimella. Suurin mittauslinjalla ollut poikkeama mitattiin. Mittauksen aikana levy oli pystyssä pidemmän sivun varassa. Mittaustarkkuus oli 1 mm. /9./



Kuva 12. Levyn mittauslinjat. /9./

Tutkimuksessa käsiteltiin vanerin käyristymistä levyn pituus- ja leveyssuunnassa sekä levyn lävistäjien suhteen (kierous).

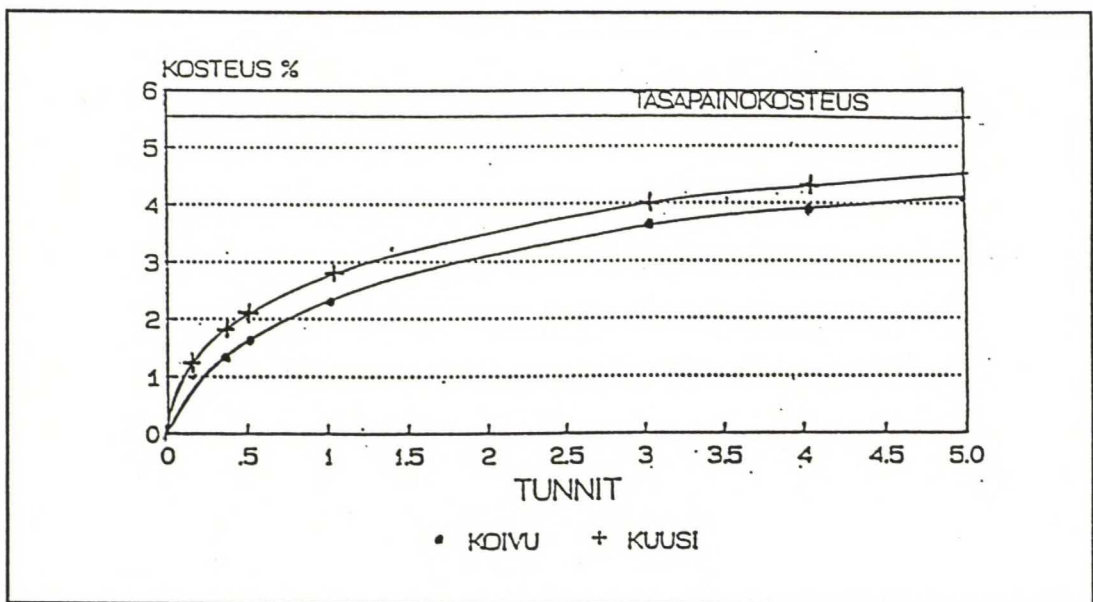
Suurin käyryys (n. 7 mm/m) levyn pituussuunnassa mitattiin koelevyillä, joissa pintaviiluilla oli kosteusero sekä combi-vanerilla. Toiseksi suurimman käyryyden (6 mm/m) aiheutti liimaviilujen kosteusero peilikuvavanerilla. Muut tutkitut muuttujat aiheuttivat noin 4 mm/m tai pienemmän käyryyden. Normaali tuotannon levyjen käyryys oli keskimäärin 1,0 mm/m. S-viiluilla liimattujen vanereiden käyryys oli keskimäärin 1,7 mm/m. /9./

Suurin käyryys levyn leveyssuunnassa (n. 13 mm/m) mitattiin levyillä, joissa liimaviiluilla oli kosteusero peilikuvavanerissa. Toiseksi suurin käyryys (5 mm/m) mitattiin levyillä, joissa oli värivikaa. Muut koelevyt olivat käyryydeltään luokkaa 4 mm/m tai vähemmän. Normaali tuotannon levyjen käyryys oli 1,3 mm/m. S-viiluista liimattujen vanereiden käyryys oli keskimäärin 1,7 mm/m. /9./

Suurin levyn käyryys lävistäjien suhteen (kierous) mitattiin levyillä, joiden pintaviiluilla oli kosteusero (14,5 mm/m). Toiseksi suurimmat arvot (10 mm/m) mitattiin peilikuvavanerilla, jossa pintaviiluilla oli kosteusero. Normaalituotannon levyjen kierous oli 2,0 mm/m. S-viiluilla liimattujen levyjen kierous oli keskimäärin 3,6 mm/m. /9./

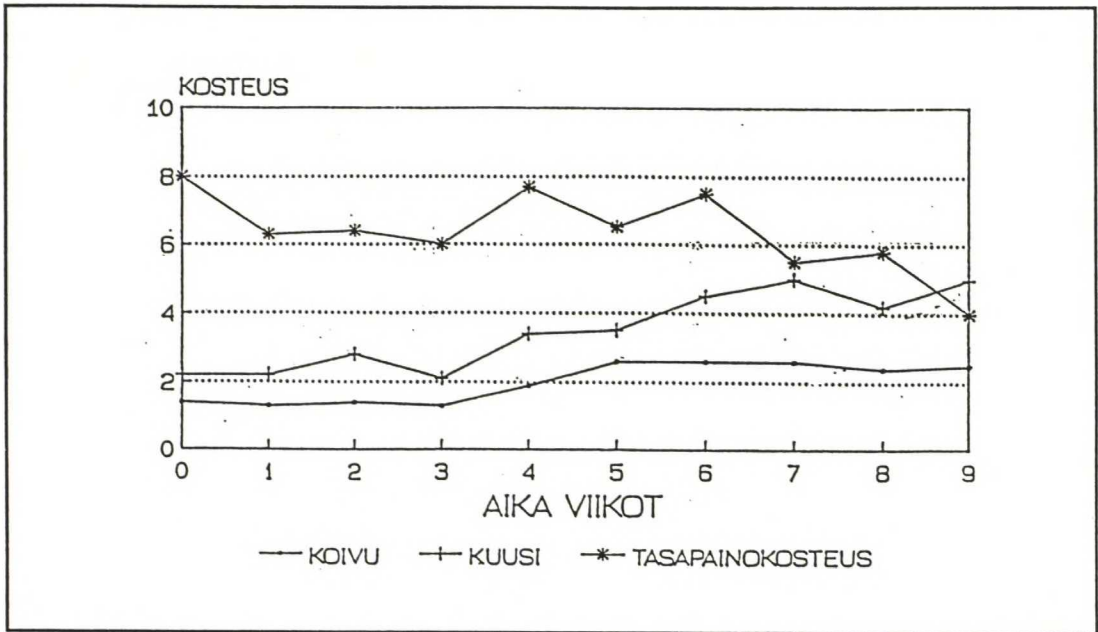
Liimanlevityksen vaikutusta vanerin käyristymiseen tutkittiin siten, että osaan levyistä levitettiin liima tasaisesti 150 g/m² molemmiin puolin liimaviiluja, ja osaan toiselle puolelle 120 g/m² ja toiselle 180 g/m². Tuloksena saatiin, ettei liimanlevityksen epätasaisuudella ole merkitystä vanerin käyristymiseen. /9./

Tutkimuksessa /9./ selvitettiin myös viilun tasapainokosteutta tehdasoloissa. Viilun hakeutuminen tasapainokosteuteen, viilun ollessa vapaasti, on melko nopeaa. Jo kolmessa tunnissa kosteus nousee 4 %:iin tasapainokosteuden ollessa 5,5 %. Lähestyttäessä tasapainotilaa kostuminen hidastuu. Kuvassa 13 on esitetty kosteuden muuttuminen.



Kuva 13. Viilun kosteus vapaassa tilassa. /9./

Sen sijaan pinkattaessa viilut kuivaajan jälkeen viilun kostuminen on huomattavasti hitaampaa. Riippuen viilukuormien tiivyydestä, voidaan todeta, että koivuviilut ovat tasapainokosteudessa neljässä ja kuusiviilut kahdessa kuukaudessa.



Kuva 14. Viilun kosteus pinkassa. /9./

Kemppainen on tutkimuksensa /9./ perusteella päätenyt seuraaviin johtopäätöksiin:

- 1) Kaikki kokeissa tehdyt tahalliset viat aiheuttivat käyristymistä. Suurimmat muodonmuutokset aiheutti levyn epäsymmetrinen kosteus.
- 2) Tutkituissa koelevyissä saattoi yhden tutkitun muuttujan (vian) lisäksi olla myös muita tutkimattomia satunnaistekijöitä samaan aikaan, ja nämä tekijät joko kumoavat tai vahvistavat toistensa vaikutuksen.
- 3) Levyjen käyristymisen vähentämiseksi tulisi kuivattujen viilujen kosteushajonta olla mahdollisimman pieni ja kosteuden keskiarvon mahdollisimman lähellä tasapainokosteutta.
- 4) Ulkona vallitsevat sääolosuhteet muuttavat tehdastilojen suhteellista kosteutta ja lämpötilaa.
- 5) Ladonnassa pyrittävä siihen, että pinnat otetaan samasta kuormasta, jolloin kosteus on mahdollisimman tasainen.
- 6) Vanerin muovipakkaus ei poista vanerin käyristymistä, mutta hidastaa sen ilmenemistä.
- 7) Asiakasta tulee informoida vanerin ominaisuuksista. Suora vaneri on enemmänkin poikkeus kuin sääntö. /9./

2.3.2. Käyristymisen simulointi tietokoneella

Tutkimuksessa /10./ simuloitiin Douglas fir (=douglasinkuusi) -vanerin käyristymistä tietokoneohjelman avulla. Tutkimus käsittelee vanerin käyristymistä tilastollisena ilmiönä ja pyrkii tietokoneen avulla ennustamaan käyristymistä sekä kehittämään yleisiä lainalaisuuksia raaka-aineen eri muuttujien ja levyn käyristymisen välille.

Käyristyminen aiheutuu aina kosteuden epätasapainon aiheuttamasta kosteuselämisestä, joskus myös lämpötilan muutoksista. Tutkimuksessa pyritään määrittämään levyn rakenteellista käyryyttä. Elastiselle käyristymiselle on laadittu seuraava yhtälö:

$$R \text{ tai } B = f(t(i), E(i), a(i)) \quad (\text{in.}) \quad (4)$$

jossa,

R= käyristyneen levyn pinnan käyryyssäde, toisessa levyn pinnan perussuunnassa (in.)

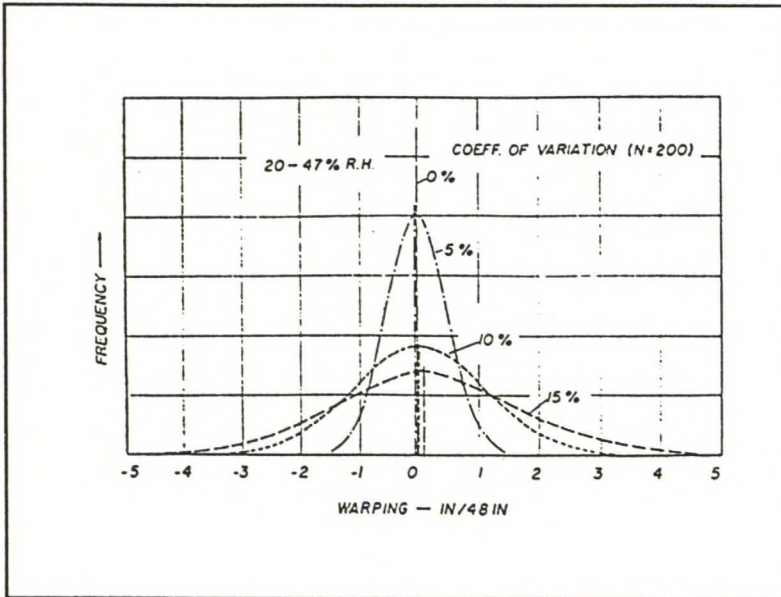
B= levyn pituuden keskipoikkeama, toisessa levyn pinnan perussuunnassa (in.)

t(i)= viilun paksuus (in.)

E(i)= viilun elastisuuden (MOE) moduli (psi)

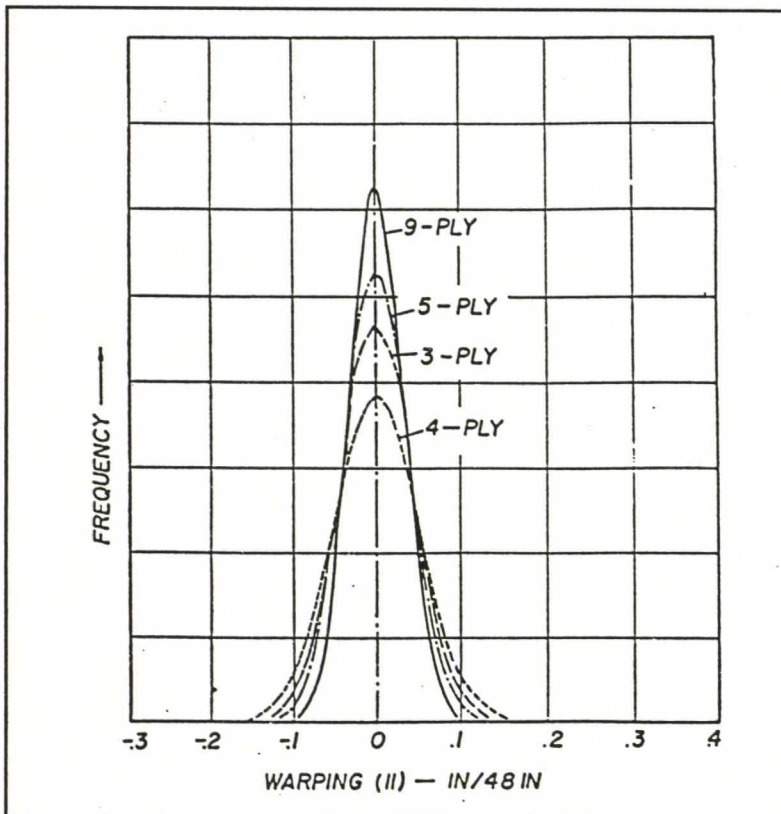
a(i)= viilun laajenemisarvo (expansion value) (in./in.)

Simulointimallin avulla on tutkittu vanerin käyristymistä. Kuvasa 15 on esitetty vanerin käyristyminen pintaviilun syysuuntaa vastaan, suhteellisen kosteuden (RH 20-47 %) sekä viilun sisäisten erojen (0 %, 5 %, 10 %, 15 %) ollessa muuttujina. /10./



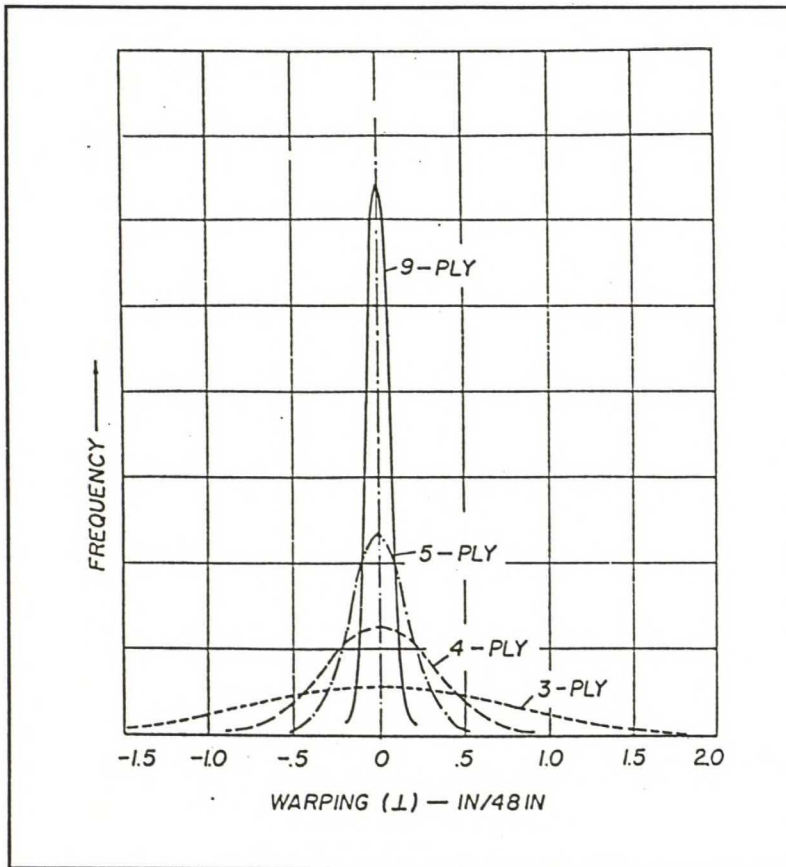
Kuva 15. Vanerin käyristymisen pintaviilujen syysuuntaa vastaan. /10./

Kuvassa 16 on esitetty rakenteen vaikutusta 12 mm:n vanerin käyristymiseen pintaviilun syysuunnassa, kun ilman suhteellinen kosteus vaihtelee välillä 20-65 %.



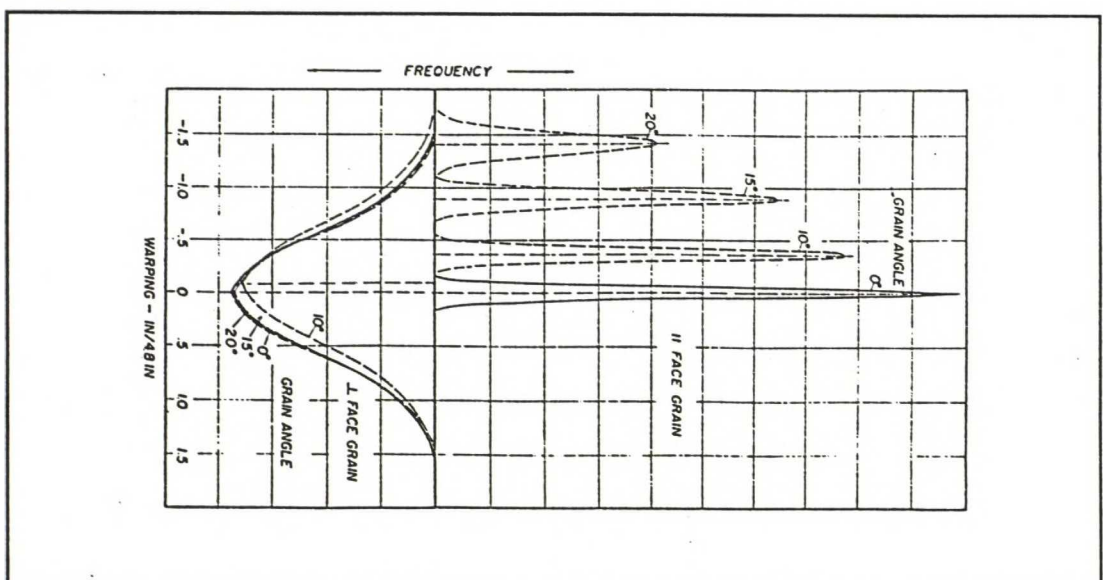
Kuva 16. Rakenteen vaikutus 12 mm:n vanerin käyristymiseen pintaviilun syysuunnassa. /10./

Kuva 17 esittää saman asian pintaviiluja vastaan kohtisuorassa suunnassa.



Kuva 17. Rakenteen vaikutus 12 mm:n vanerin käyristymiseen pintaviiluja vastaan kohtisuorassa suunnassa. /10./

Vinosyisyyden vaikutusta 3-ply vanerin käyristymiseen tutkittiin pintaviilujen syysuunnassa ja niitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Vinosyisyyden tutkittavat arvot olivat: 0° , 10° , 15° ja 20° .



Kuva 18. Vinosyisyyden vaikutus 3-ply vanerin käyristymiseen pintaviilun syiden suunnassa ja pintaviiluja vastaan kohtisuorassa suunnassa. /10./

Tutkimuksen perusteella päädyttiin seuraaviin johtopäätöksiin:

- 1) Vanerin käyristyminen on tilastollinen ilmiö, ja täydellinen suora levy on enemmänkin poikkeus kuin sääntö. Suurin levyn käyristymistä aiheuttava tekijä on viilujen luonnolliset ominaisuudet. Mikäli näitä ominaisuuksia pystytään kontrolloimaan, voidaan levyjen käyristymistä vähentää. /10./
- 2) Ohuiden vanerilevyjen käyristymiseen, pintaviilun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa, vaikuttaa eniten viilun laajenemisarvo (expansion value). Tämä tarkoittaa, että jos levyn kosteus pysyy vakiona, ei käyristymisongelmaa esiinny. Pintaviilun syiden suunnassa käyristymistä aiheuttaa eniten kimmomoduuliarvon (II) aleneminen ja/tai viilun laajenemisarvon kasvu. Kummankin arvon voimakkaat muutokset riippuvat vinosyisyydestä sekä kevät- ja kesäpuun vaihtelusta. /10./

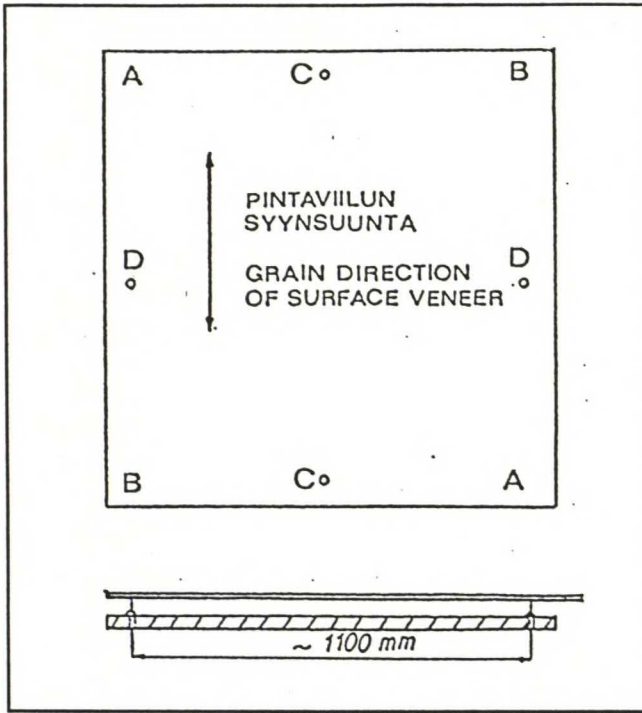
2.3.3. Vanerin käyristyminen kosteuden vaihdellessa

VTT:n puulaboratoriossa tutkittiin /11./ vuosina 1966-73 koivu-, seka- ja kuusivanerin dimensiomuutoksia, käyristymistä ja kieroutumista kosteuden funktiona.

Koelevyt olivat fenoliliimalla liimattuja, teollisesti valmistettuja vanereita. Koelevyjen nimellispaksuudet olivat 4 mm-24 mm. Koelevyjen rakenteet olivat yleiset käytössä olevat vanerirakenteet. Koivuvanereita oli jokaista paksuutta kaksi rinnakkaiskoelevyä, sekavanereita viisi ja kuusivanereita kolme. Koelevyt olivat kooltaan 120 cm x 120 cm. Koelevyt tasaannutettiin eri kosteustiloihin kuivasta (4-9 %) tilasta alkaen. Jokaisen tasaannuttamisvaiheen jälkeen levyistä mitattiin pituus- ja leveyssuuntainen käyryys sekä kierous. Koelevyt tasaannutettiin telineissä pystyasennossa toisistaan erillään. /11./

Levyjen käyryys mitattiin sekä levyn pituus- että leveyssuunnassa. Käyryys levyn pituussuunnassa määritettiin asettamalla viivotin pisteiden C-C kautta (kuva 19) ja mittaamalla viivottimen muodostaman jänteen etäisyys levyn keskipisteestä millimetreinä. Käyryys leveyssuunnassa määritettiin vastaavasti asettamalla viivotin pisteiden D-D kautta. /11./

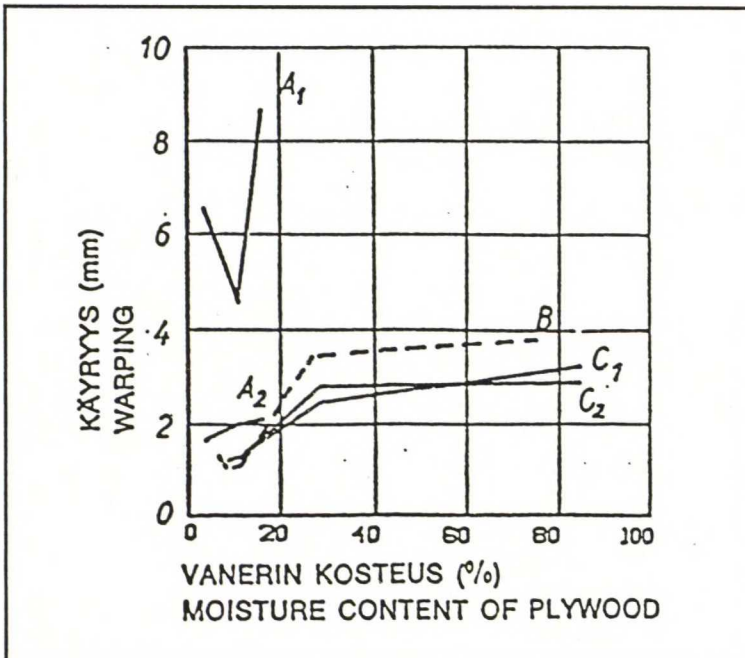
Levyjen kierous määritettiin asettamalla viivotin pisteiden A-A ja B-B kautta (kuva 19) ja mittaamalla viivottimen muodostaman jänteen etäisyys levyn keskipisteestä. Jos molemmat mittaukset on voitu tehdä levyn samalta puolelta, kierouden arvo on näiden mittaustulosten erotus. Jos mittaukset on jouduttu tekemään levyn eri puolilta, kierouden arvo on mittaustulosten summa. /11./



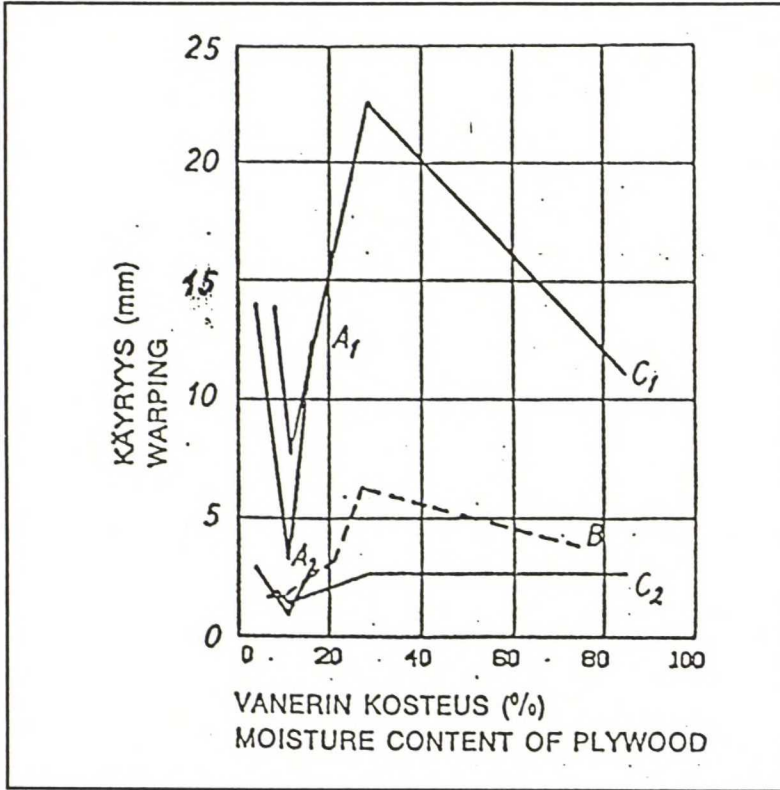
Kuva 19. Mittauspisteiden sijainti koelevyssä. /11./

Vanerin käyryys pituussuunnassa on esitetty kuvassa 20, leveys-suunnassa kuvassa 21 ja kierous kuvassa 22. Kuvissa esiintyvät merkinnät tarkoittavat:

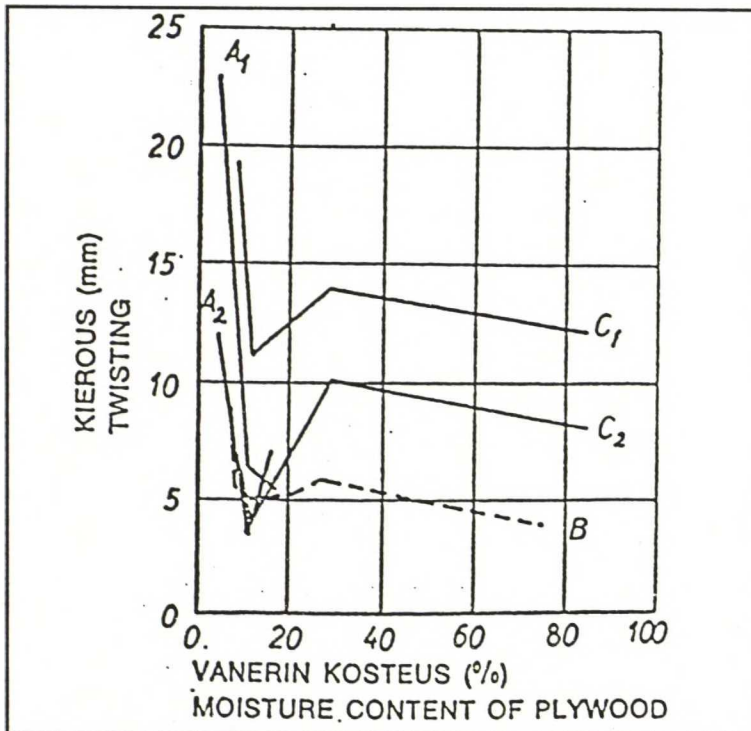
- A_1 = koivuvaneri 4-9 mm
- A_2 = koivuvaneri 12-18 mm
- B = sekavaneri 12-28 mm
- C_1 = kuusivaneri 6,5-9 mm
- C_2 = kuusivaneri 12-24 mm



Kuva 20. Vanerin käyryys pituussuunnassa kosteuden funktiona. /11./



Kuva 21. Vanerin käyryys leveyssuunnassa kosteuden funktiona. /11./



Kuva 22. Vanerin kierous kosteuden funktiona. /11./

Vanerien leveyssuuntainen käyryys on huomattavasti suurempi kuin pituussuuntainen käyryys ja ohuet vanerit ovat käyristyneet ja kieroutuneet enemmän kuin paksut vanerit. Koivuvaneri on kieroutunut ja käyristynyt hieman enemmän kuin seka- ja

kuusivanerit, mutta tuloksista ei voi tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä, etenkin kun koivuvanerin osalta ei ole käyryys- ja kierousarvoja yli 16 %:n kosteuksissa. Vanerin käyryydellä ja kieroudella on minimikohta kosteuden ollessa 9-11 %:n välillä, mikä vastaa vanerin kosteutta kuumapuristimesta otettaessa. Tällöin levy on suorimmillaan; käyryys ja kierous suurenevat sitä enemmän, mitä enemmän vanerin kosteus poikkeaa tästä kosteudesta. /11./

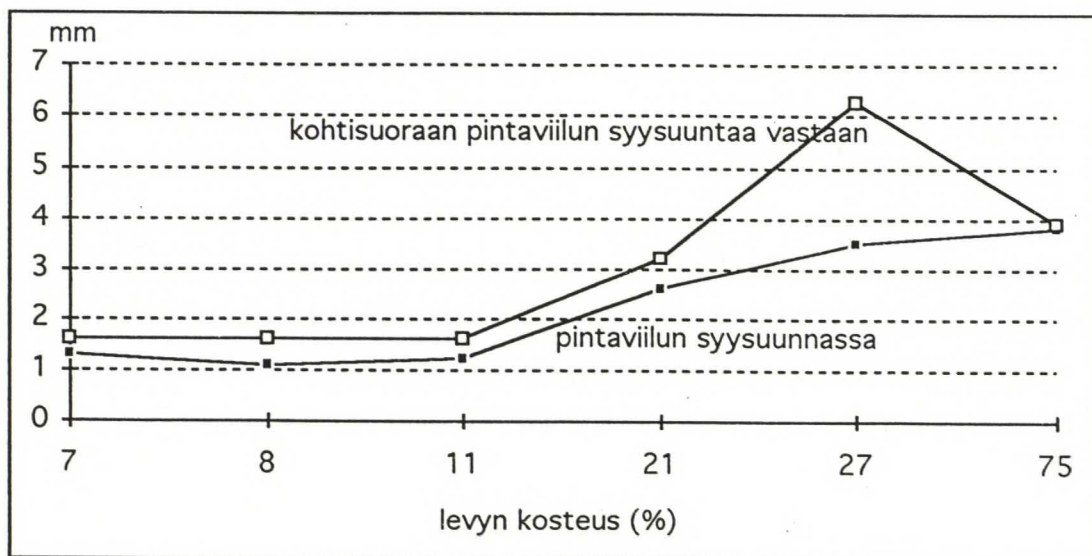
2.3.4. Sekavanerin eläminen

Suomen Vaneriyhdistys ry:n toimeksiannosta on VTT:n Puuteknillisessä laboratoriossa tutkittu sekavanerin elämistä. Tutkimuksen kohteina olivat kosteuden lisääntyessä eri paksuisissa levyissä tapahtuva paksuusturpoama, eläminen levyn tason suunnassa, käyristyminen ja kieroutuminen. /12./

Kokeissa tutkittiin levyjä, joiden nimellispaksuudet olivat 12 mm, 20 mm ja 28 mm. Levyt liimattiin fenoliliimalla ja ne olivat kooltaan 50 in. x 50 in.. Levyjen tasaannuttamisolosuhteet (RH) olivat: 50 %, 75 % ja 95 %. Lämpötila oli noin 20 C°. Levyt tasaannutettiin telineissä pystyasennossa toisistaan irrallaan. Levyjen eläminen määritettiin mittaamalla levyt alkukosteustilassa ja uudelleen levyjen tasaannuttua loppukosteuksiinsa.

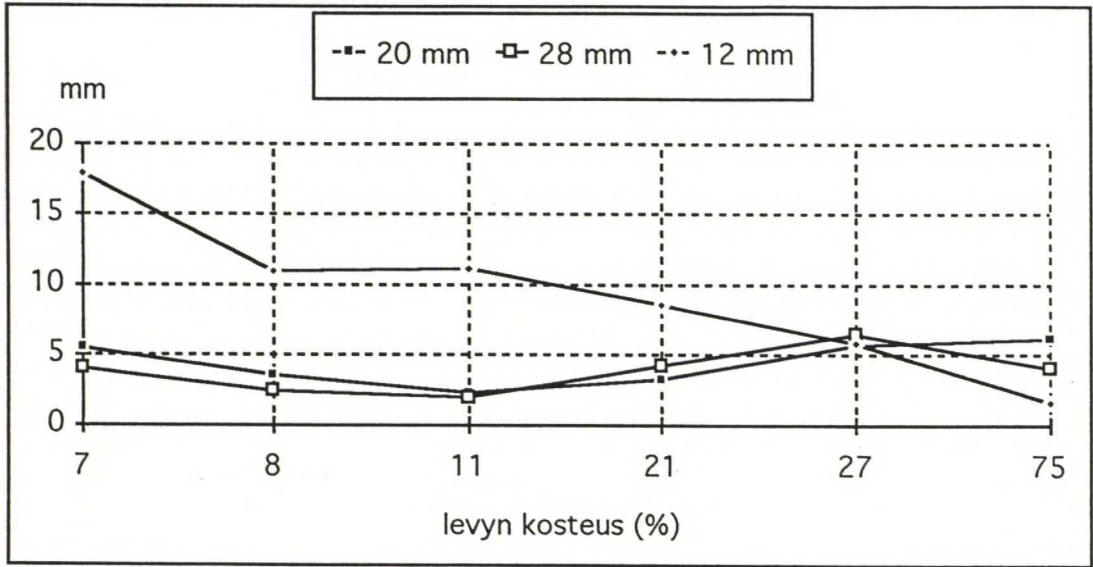
Levyjen käyryys ja kierous mitattiin samalla periaatteella kuin kohdassa 2.3.3. (kuva 19).

Levyjen käyristyminen kosteuden funktiona on esitetty kuvassa 23. Tutkimustuloksista voidaan päätellä, että käyristyminen on kääntäen verrannollinen levypaksuuteen. Käyristyminen pintaviilun syysuunnassa on pienempi kuin poikkisuunnassa. Käyristyminen vähenee, kun 30 %:n kosteus on saavutettu. /12./



Kuva 23. Käyryys kosteuden funktiona. /12./

Levyjen kieroutuminen on esitetty kuvassa 24. Kieroutuminen on kääntäen verrannollista levypaksuuteen aina noin 15 %:n kosteuteen saakka. Kun levyt ylittävät 30 %:n kosteuden ovat kierouden muutokset suhteellisen pieniä. Kieroudella sekä käyryydellä on minimi- tai tasannekohta levyn kosteuden ollessa 9-11 %./12./



Kuva 24. Levyjen kierous kosteuden funktiona. /12./

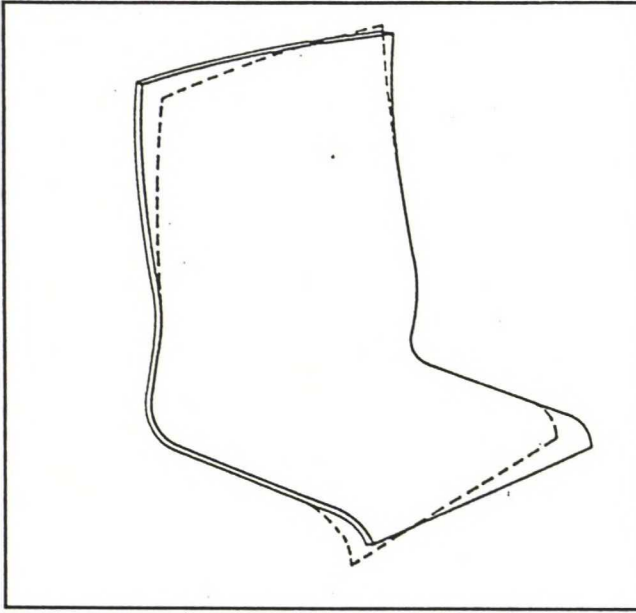
2.3.5. Muotonsa pitävien vanerikomponenttien valmistus

Saksalainen yritys Fritz Becker KG on kehittänyt ja patentoinut uuden valmistustekniikan, jolla vanerikomponenttien muotopysyvyyttä on parannettu. Muotopuristettu vaneri on ihanteellinen raaka-aine huonekaluteollisuudessa. Se on lujuudestaan huolimatta ohut ja kevyt materiaali. Mittatarkkoissa käyttökohteissa sen haittana on ollut huono muotopysyvyys (käyristyminen ja kieroutuminen). Uudella tekniikalla on kappaleiden muotopysyvyyttä pystytty huomattavasti parantamaan. /13./

Pyökistä valmistetun vanerin ja varsinkin muotopuristettujen vanerikomponenttien kieroutuminen on suuri ongelma. Pääsyy kieroutumiseen on vaneritukin kierteisyys, joka voidaan havaita tukista jossakin määrin, muttei enää sorvatusta viilusta. Jos viilu on sorvattu kierteisyydestä tukista, ei syysuunta viilumattoja leikatessa kulje leikkausreunan suuntaisesti. Tällaisesta viilusta tehty valmis tuote (liiman ja kosteusvaihteluiden takia) vetäytyy kiero. /13./

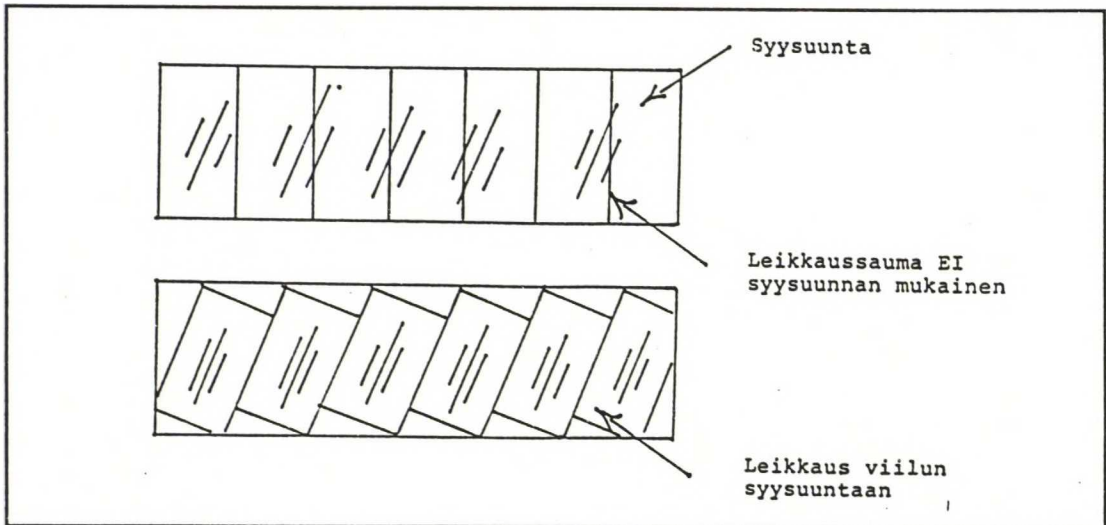
Fritz Becker KG:n tutkimusten mukaan jo yksi ainoa vinosyinen viilukerros aiheuttaa esimerkiksi vanerista muotopuristetun tuolin istuinosan kieroutumisen (kuva 25). Erityisesti ilman kosteuden vaihtelut, joita esiintyy kuljetuksen, varastoinnin ja lopullisen sijaintipaikan välillä, aiheuttavat puun kosteuselämistä.

Tämä näkyy vanerituotteiden kieroutumisena, elleivät viilujen syysuunnat ole toisiinsa nähden täsmälleen 90° kulmassa. /13./



Kuva 25. Muotopuristetun vanerin kieroutuminen. /13./

Kun perinteisessä viilun katkaisussa leikkaussauma on 90° kulmassa viilumaton pitkään sivuun nähden, niin uudella menetelmällä leikkaussauma kulkee aina viilumaton kulloisenkin syysuunnan mukaisesti (kuva 26). Uusi tekniikka tunnistaa syysuunnan automaattisesti jokaisesta viilumatosta erikseen.



Kuva 26. Viilumaton katkaisu perinteisellä sekä uudella tekniikalla. /13./

Kokemuksia uudesta tekniikasta:

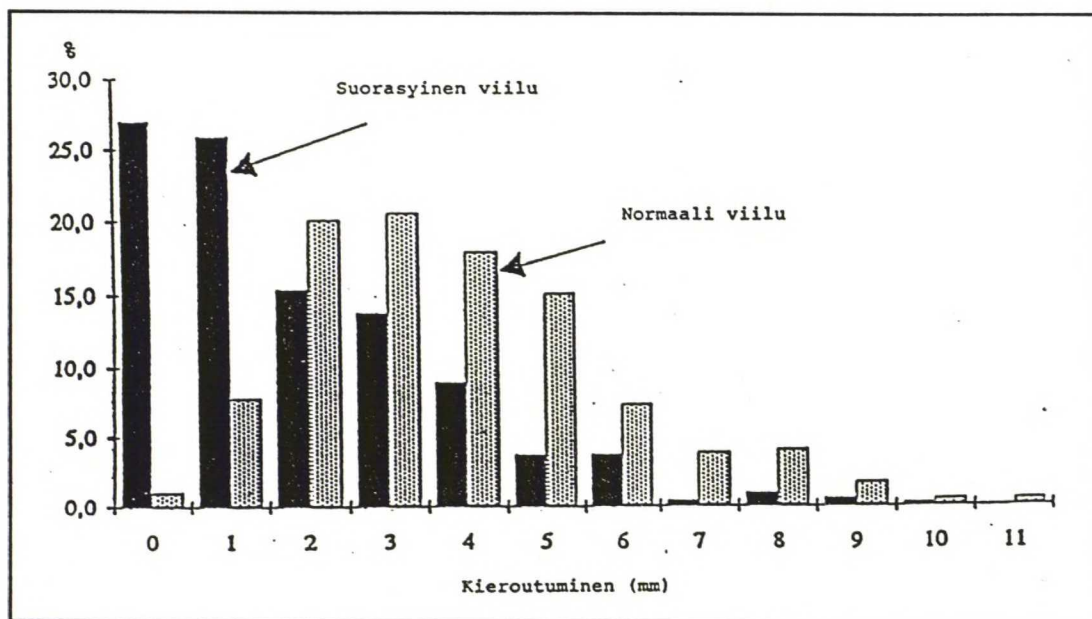
1) Raaka-aineen kulutus on suurempi kuin perinteisessä menetelmässä ja riippuu puun kierteisyyden asteesta.

2) Uusi tekniikka pystyy hoitamaan viilun leikkauksen huomattavasti nopeammin kuin entinen Clipper-tekniikka.

3) Tukissa on lähes aina jonkinasteista kierteisyyttä, jota ei perinteisin viilun valmistusmenetelmin pystytä eliminoimaan. Tällä uudella menetelmällä ongelma on käytännöllisesti kokonaan pystytty poistamaan. Kuvassa 27 on esitetty tutkimustulokset, joiden mukaan uudella menetelmällä valmistettujen komponenttien kieroutumisarvot ovat olennaisesti paremmat kuin entisen menetelmän mukaan valmistettujen. Uuden menetelmän etuina voidaan pitää esim. sitä, että valmiiden tuotteiden hylkäysprosentti putoaa jyrkästi ja tekniset edellytykset eivät enää aseta esteitä suunnittelulle.

4) Kierteisyyden vaneritukin käsittelyongelma on nyt saatu ratkaistuksi, eikä asiakkailta tule enää reklamaatioita kieroutumisen takia.

5) Uuden tekniikan lisäkustannukset pysyvät niissä rajoissa, mitä markkinat ovat paremmasta laadusta valmiit maksamaan.



Kuva 27. Kieroutumisarvot vanhan ja uuden tekniikan mukaan. Testattujen tuotteiden määrä > 1000. /13./

2.3.6. Kosteuden vaikutus vanerin muodonmuutoksiin

Tutkimus /14./ on tehty VTT:n Puulaboratoriossa 1990 ja se käsittelee kostean viilun liimausta.

USA:n vaneritehtaiden kokemusten mukaan kosteista viiluista liimatun vanerin muodonmuutokset, paksuusturpoama, kieroutuminen ja käyristyminen jäävät pienemmiksi kuin kuivista viiluista valmistetun vanerin muodonmuutokset. Pienempien muodon-

muutosten arvioidaan johtuvan levyssä kuljetuksen ja käytön aikana tapahtuvista pienemmistä kosteuden muutoksista, koska levyn valmistuskosteus on jo lähellä lopullista käyttökosteutta. /14./

Levyn alkukosteuden vaikutusta sen muodonmuutoksiin selvitetiin vertailemalla kosteista ja normaaleista viiluista valmistettujen levyjen muodonmuutoksia vaihtuvissa kosteusolosuhteissa. Kosteampien levyjen valmistukseen käytettyjen koivuviilujen keskikosteus oli noin 7 % ja sekavaneriin käytettyjen kuusiviilujen sekä normaalituotannon vanereihin käytettyjen koivuviilujen keskikosteus oli noin 3,5 %. Koelevyjen koko oli 1280 mm x 2550 mm. Koivuvanereiden nimellispaksuudet olivat 12 mm ja 6,5 mm ja sekavanerin nimellispaksuus oli 21 mm. Otoskoko oli 10 levyä. /14./

Levyjen tasaannutusohjelma ja sen tuottamat keskikosteudet olivat:

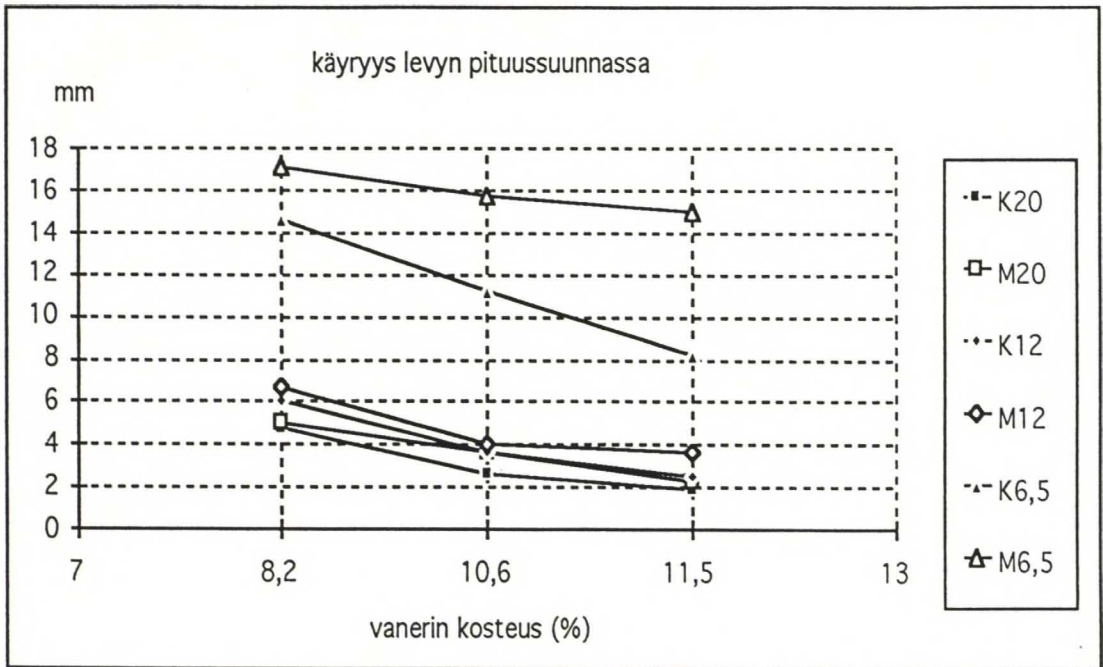
12 viikkoa, RH 65 %, levyjen keskikosteus 11,5 %.
11 viikkoa, RH 35 %, levyjen keskikosteus 8,2 %.
10 viikkoa, (kylmä varasto), levyjen keskikosteus 10,6 %.

Käyryys mitattiin standardin TGL 23037 mukaista menetelmää soveltaen. Levyistä mitattiin levyn pitkän sivun suuntaisen akselin kolmen eri pisteen poikkeamat levyn pituus- ja leveyssuunnassa. /14./

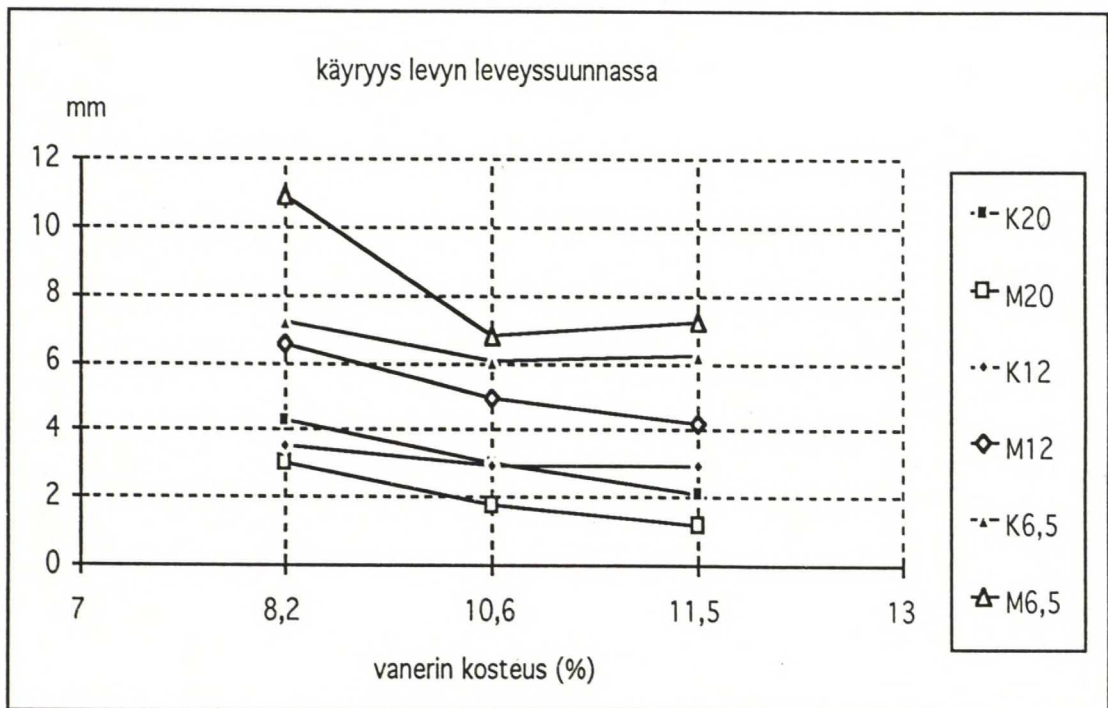
Levyjen kierous mitattiin standardin SIS 83 01 10 mukaisella menetelmällä. Levyn kolme kulmaa asetettiin koskettamaan pystysuorasta tasosta ulkonevaa kolmea tukipistettä ja neljännen kulman poikkeama muiden kulmien tasosta mitattiin. /14./

Kokeen alussa olivat kosteista viiluista valmistettujen 21 mm:n ja 6,5 mm:n vanerien kosteudet 11,5 ja 9,5 %, mitkä ovat noin kaksi prosenttiyksikköä suuremmat kuin kuivista viiluista valmistettujen vanerien kosteudet. 12 mm:n levyjen kosteudet eivät poikenneet toisistaan. /14./

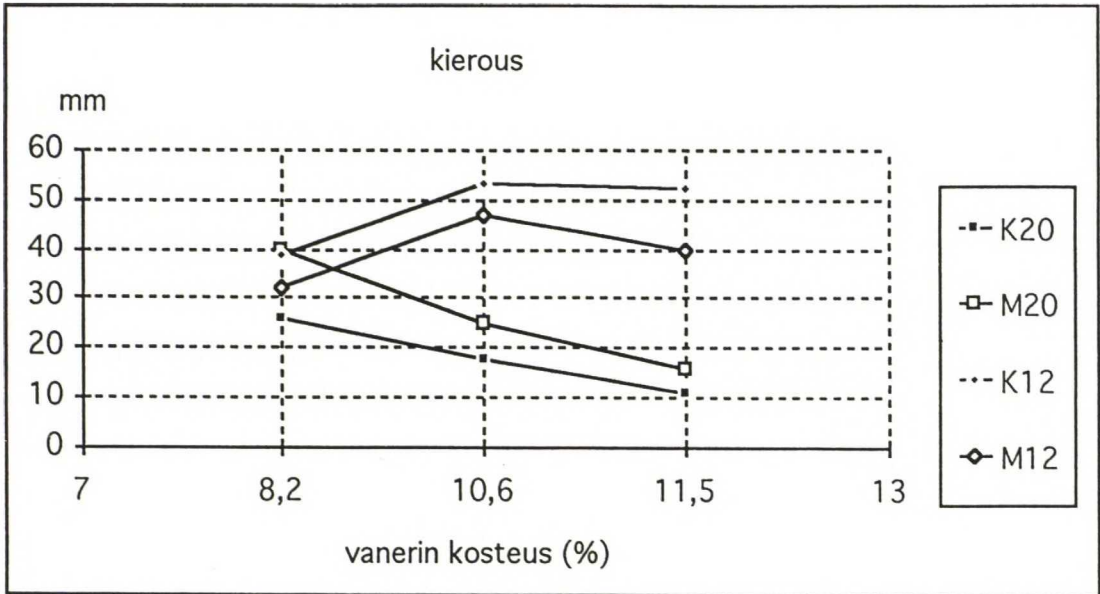
Levyjen kosteuden muuttuessa 8,2 %:sta 11,5 %:iin, kaikkien levyjen pituus- ja leveyssuuntainen käyryys vähenevät (kuvat 28 ja 29). Kosteuden kasvaessa 21 mm:n vanerien kierous vähenee ja 12 mm:n vanerien kierous aluksi lisääntyy ja kääntyy sitten laskuun (kuva 30). Koska käyryydelle ja kieroudelle ei ole sallittuja arvoja tai muita raja-arvoja, ei voida sanoa, mitä tasoa levyjen käyryydessä ja kieroudessa tulisi tavoitella. Kuvissa kirjain K tarkoittaa kuivista ja kirjain M märistä viiluista valmistettuja levyjä ja kirjainta seuraava numero tarkoittaa levyn paksuutta. /14./



Kuva 28. Kosteuden vaikutus vanerin pituussuuntaiseen käyryyteen. /14./



Kuva 29. Kosteuden vaikutus vanerin leveyssuuntaiseen käyryyteen. /14./



Kuva 30. Kosteuden vaikutus vanerin kierouteen. /14./

2.3.7. Pinnoitettujen levyjen käyristyminen

FIRA:n tutkimusten /15./ mukaan puulevyt (erikoisesti vaneri), jotka on päällystetty (muovilaminaatilla, paperilla, muovikalvolla tai viilulla), voivat käyristyä pääasiassa viidestä eri syystä:

- 1) Kun täysin samanlaiset pinnoitteet, joissa on eri kosteuspitoisuus, puristetaan levyn pintaan, pinnoitteet saavuttavat oman tasapainokosteutensa jonkin ajan kuluttua. Tämän takia pinnoitteet vaikuttavat eri suurilla voimilla levyn pintoihin ja aiheuttavat levyn käyristymistä.
- 2) Kun levy pinnoitetaan molemmiin puolin kahdella eri tyyppisellä pinnoitteella (pinnoitteilla sama kosteus), pinnoitteiden eri kosteuselämisominaisuudet saattavat aiheuttaa levyn käyristymistä.
- 3) Kun erilaiset pinnoitteet (pinnoitteilla sama kosteus), joilla on erilaiset kosteuselämisominaisuudet ja eri paksuus, puristetaan levyn eri pinnoille, ilman kosteusmuutokset aiheuttavat eri suuruisia voimia levyn pintoihin. Tämän johdosta levy voi käyristyä.
- 4) Kun erilaisilla pinnoitteilla (kts. kohta 2.), joilla eri ominaisuudet, päällystetään puulevy, käyristymistä ei esiinny, jos pinnoitteet ovat tasapainossa kosteuden suhteen. Jos kosteusolosuhteet muuttuvat, eri pinnat elävät eri tavalla.
- 5) Tilapäinen käyristyminen: kosteus-diffuusio tasaantuneesta levyrakenteesta ulos tai sisään saattaa olla erilainen, jos peruslevyn pinnat on käsitelty eri tavalla (esim. hionta) tai jos pinnoite-

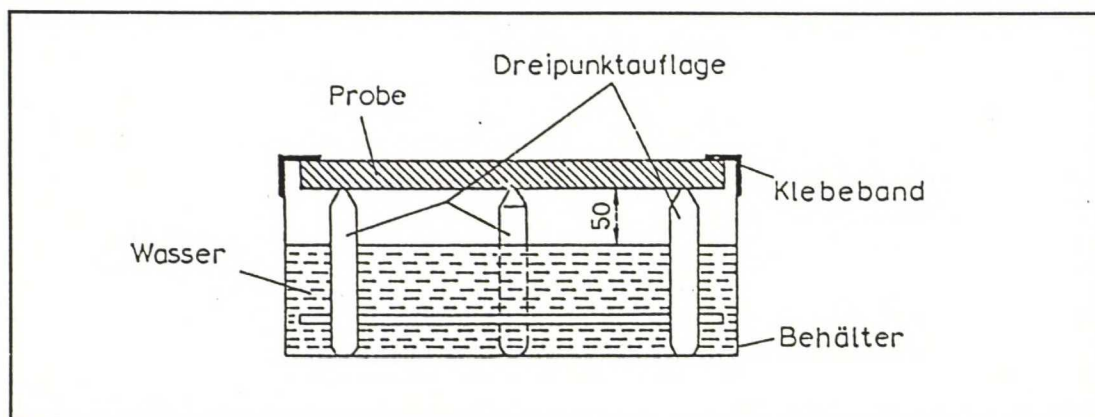
tun levyn pinnat ovat eri kosteusolosuhteissa. Näistä tekijöistä johtuen voi aiheutua levyn käyristymistä. Käyristyminen häviää, kun levyn eri pintojen kosteusvaihtelut tasaantuvat. Levyn tasaantuminen ja oikeneminen on suoraan verrannollinen levyn kosteusmuutoksen nopeuteen.

Jos pinnoitetuilta levyiltä vaaditaan mahdollisimman suurta tasomaisuutta, levyn pinnoitusmateriaalien tulisi olla samaa materiaalia ja samasta tilauserästä. Pinnoitteet tulisi tasaannuttaa samassa varastossa (kosteusolosuhteet vakiot) ennen pinnoitusta. Levyn hionnan ja käsittelyn tulisi olla molemmilla pinnoilla samanlainen. Seuraavassa ohjeita käyristymisen ehkäisemiseksi:

- a) Käytä tasapuolista rakennetta, jos mahdollista.
- b) Pyri tasapuoliseen peruslevyn hiontaan molemmin puolin.
- c) Tarkkaile pinnoitusmateriaalien kosteutta tietyin väliajoin.
- d) Varmista, että sekä päällystettävä levy että pinnoitteet tasaannutetaan samaan kosteuteen. Pinnoituspakkaukset on hyvä avata muutama päivä ennen pinnoitusta tasaantumisen nopeuttamiseksi.
- e) Jos pinnoitteet liimataan kiinni levyyn, varmista tasapuolinen liimanlevitys molemmille pinnoille.
- f) Jos levy pinnoitetaan puuviilulla, on syytä varmistaa, että viilujen syysuunnat ovat samat kummallakin levyn puolella (pinnan kosteuseläminen riippuu syysuunnasta). Myös muilla pinnoitteilla pinnoitettaessa on tärkeää, että pinnoitteet asetetaan levyn pinnoille saman suuntaisesti.
- g) Varmista, että päällystettävien levyjen lämpötila on vakio.
- h) Muovilaminaatilla päällystettäessä lämpötila ei saisi nousta yli 70 °C. Tällöin vältetään mahdollinen riski lämpölaajenemisesta.
- i) Varmista, että levyt pysyvät suorina (varastointi), kunnes levyt tasaantuvat ympäröivään lämpötilaan.
- j) Noudata asiakkaan suosituksia varastoinnista (pakkaus, kosteus ja lämpötila). /15./

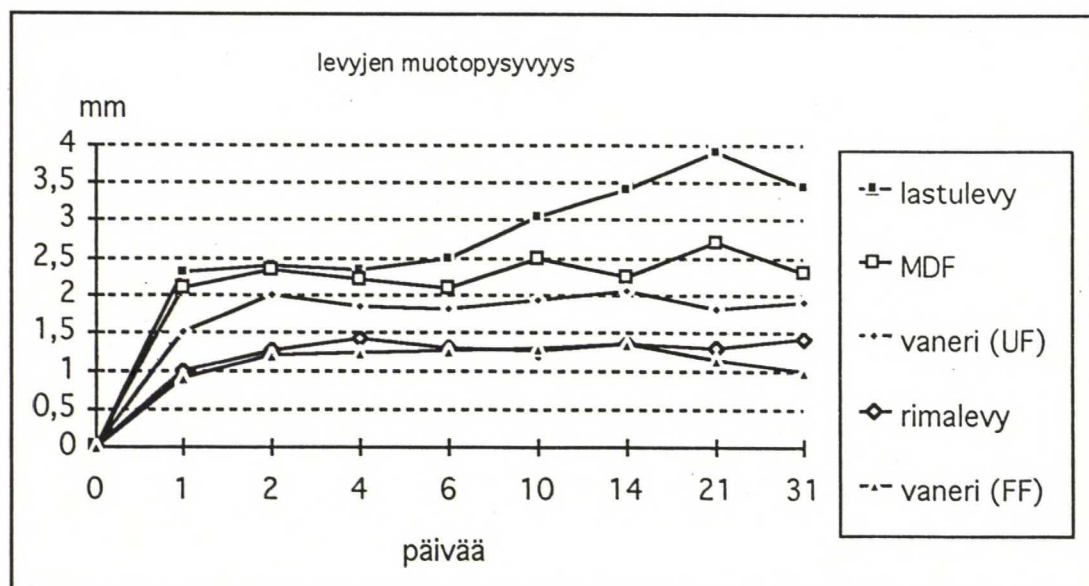
2.3.8. Liiman vaikutus vanerin muotopysyvyyteen

Tutkimuksessa /16./ tutkittiin viiden eri puulevyn (lastulevy, MDF, rimalevy, FF-liimalla liimattu vaneri ja UF-liimalla liimattu vaneri) muotopysyvyyttä. Levyt testattiin asettamalla niiden molemmat pinnat eri kosteusolosuhteisiin (kuva 31). Toinen levyn pinta huonetilassa ja toinen pinta vesiastiassa. Testausmenetelmä on standardin TGL 4413 mukainen. Levyjen pintojen muodonmuutokset mitattiin standardin mukaisella mittakellosoytemillä ajan funktiona.



Kuva 31. Koejärjestely. /16./

Kuvassa 32 on esitetty levyjen muodonmuutokset (mm) ajan funktiona. Tutkimuksen tuloksena nähdään, että molemmat vaneerit sekä rimalevy säilyttivät paremmin muotonsa kuin lastu- ja MDF-levy. Tuloksista nähdään myös liiman vaikutus vanerien muotopysyvyyteen. Fenoliformaldehydiliima on selvästi parempi kuin ureaformaldehydiliima vanerin muotopysyvyyden kannalta. /16./



Kuva 32. Levyjen muotopysyvyys ajan funktiona. /16./

Koponen /17./ on tutkimuksissaan todennut, että kosteudenjohtavuus- ja diffuusiokertoimien perusteella vanerin liimasauma vastaa 0,7 mm viilukerrosta. Liimasaumat estävät siis voimakkaasti veden siirtymistä levyn tasosta. /17./

2.4. Puun tasapainokosteus

Koska vanerin käyristymisongelmaan liittyy oleellisesti puun tasapainokosteus, tässä yhteydessä esitetään laskentamalli tasapainokosteuden määrittämiseksi. /18./

Puun kosteuspitoisuus puun syiden kyllästymispisteen alapuolella on ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan funktio. Tasapainokosteus on määritelty siten, että tasapainokosteustilassa puu ei ime eikä luovuta kosteutta. Puun tasapainokosteus voidaan määrittää seuraavan kaavan avulla:

$$M = \frac{1800}{W} \left[\frac{KH}{1 - KH} + \frac{K_1 KH + 2K_1 K_2 K^2 H^2}{1 + K_1 KH + K_1 K_2 K^2 H^2} \right] \quad (5)$$

missä,

$$W = 330 + 0,452T + 0,00415T^2$$

$$K = 0,791 + 0,000463T - 0,000000844T^2$$

$$K_1 = 6,34 + 0,000775T - 0,0000935T^2$$

$$K_2 = 1,09 + 0,0284T - 0,0000904T^2$$

ja

T= lämpötila (°F)

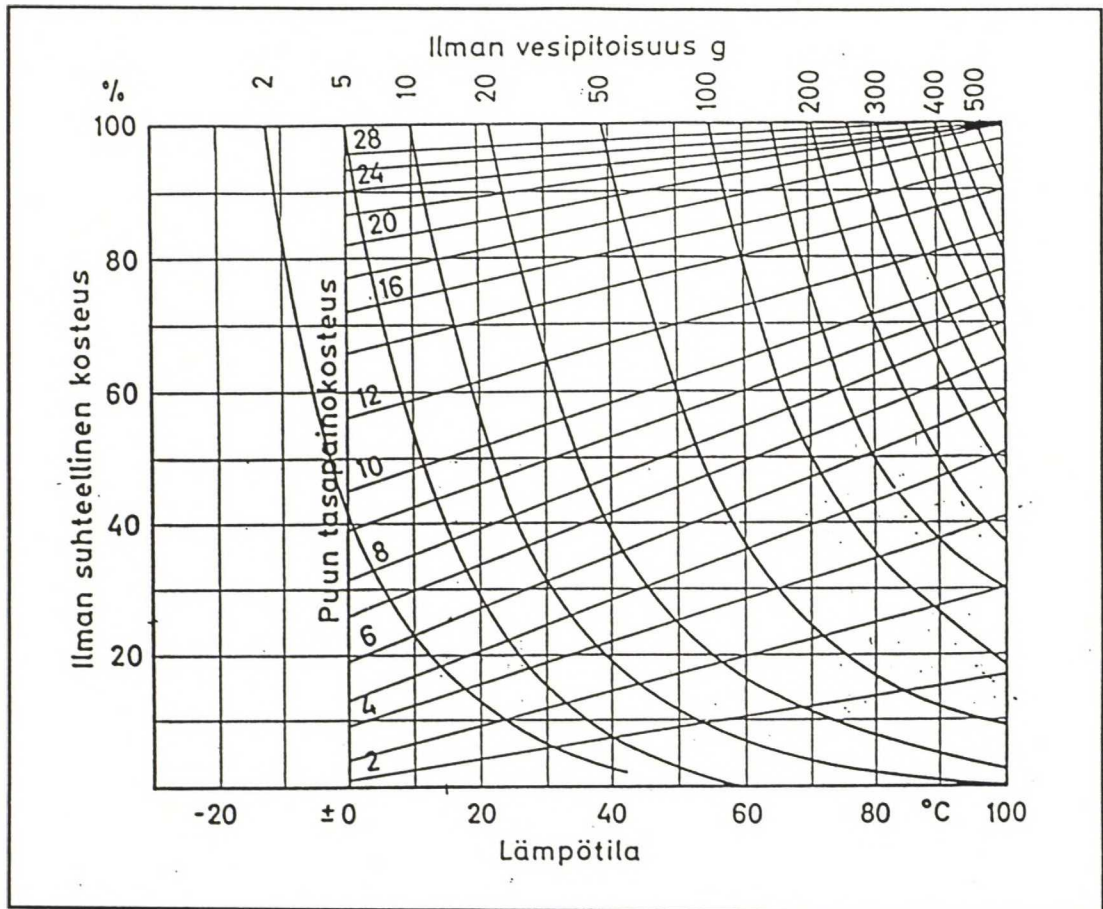
H= suhteellinen kosteus (%)

M= puun tasapainokosteus (%)

Koska kaavassa lämpötila ilmoitetaan fahrenheit-asteina (°F), niin seuraavan kaavan avulla muutetaan celsius-asteet (°C) fahrenheit-asteiksi (°F):

$$^{\circ}\text{F} = 1,8^{\circ}\text{C} + 32 \quad (6)$$

Puun tasapainokosteus saadaan helpoimmin katsomalla kuvaajasta (kuva 33), kun tiedetään ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila.



Kuva 33. Puun tasapainokosteuden määrittäminen. /9./

3. KOKEELLINEN OSA

3.1. Kokeellisen osan sisältö

Kokeellisessa osassa valmistettiin vaneria siten, että valittuihin koelevyihin sisällytettiin erilaisia muuttujia. Niiden avulla yritettiin löytää ratkaisuja sille, mitkä tekijät vähentävät tai lisäävät vanerin käyristymistä.

Kokeellinen osa jaettiin kolmeen osaan:

- a) tehdaskokeet
- b) laboratoriokokeet
- c) täydentävät kokeet.

Tehdas- ja laboratoriokokeiden avulla pyrittiin täydentämään vanerin käyristymisestä jo tehtyjä tutkimuksia. Myös tärkeimmät käyristymiseen vaikuttavat tekijät tuotannossa pyrittiin löytämään. Täydentävät kokeet tehtiin lisänä tehdaskokeisiin. Kokeiden tulosten avulla yritetään löytää käytännön ratkaisuja vanerin käyristymisen hallitsemiseksi tuotannossa.

3.2. Valmistetut koelevyt

Vanerin käyristymisen tutkimista varten valmistettava peruslevy:

- 12 mm koivuvaneri (9 ply)
- viilun paksuus 1,5 mm
- levyn koko 1220 mm x 2440 mm
- liima WBP (fenoliformaldehydi), levitysmäärä 145 - 160 g/m²
- raaka-aine autokuljetuspuuta
- pintaviilu: laatu BB, koko 132 cm x 254 cm
- liimaviilu: laatu PK, koko 254 cm (jatkettu)
- huonompi keskimmäinen: laatu HK, koko 132 cm x 129 cm
- puristuspaine 17 kg/m², lämpötila 130 C°

Kaikki koelevyt valmistettiin normaalin tuotantoprosessin mukaisesti sisältäen sahauksen ja hionnan. Peruslevystä valmistettiin erilaisia variaatioita siten, että tutkittaviin koelevyihin sisällytettiin vain yksi tutkittava muuttuja kerrallaan. Erilaisten peruslevyjen lisäksi kokeisiin otettiin mukaan myös erityyppisiä vanerituotteita (pinnoitteet). Seuraavassa luettelossa esitetään kaikki 16 erilaista koelevyä. Levyjen jälkeen ilmoitetaan niiden otoskoko, erikoispiirteet sekä levyistä käytettävä lyhenne suluissa.

Valmistetut koelevyt:

- 1) 12 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- normaalituotanto (N)
- 2) 12 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- hyvälaatuinen, lieriömäinen pölly (HY)
- 3) 12 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- huonolaatuinen, käyrä pölly (HU)
- 4) 12 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- viilujen symmetrinen ladonta sorvaushalkeamien suhteen (S)
- 5) 12 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- 1. ja 4. liimaviiluilla n. 4 %:n kosteusero (KL)
- 6) 12 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- pintaviiluilla n. 4 %:n kosteusero (KP)
- 7) 12 mm BB koivu WBP (10 kpl.)
- viilujen jatkoskohdat määriteltä (J)
- 8) 12 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- lankasaumatut kuivat viilut (SK)
- 9) 12 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- vesivarastoitu uittopuu, normaalituotanto (U)
- 10) 12 mm Wisa-Laser X INT (10 kpl)
- normaalituotanto (INT)
- 11) 12 mm BB koivu INT (10 kpl)
- ohut viilu 1,2 mm, 11 ply (OHU)
- 12) 18 mm Wisa-Laser x INT (10 kpl)
- normaalituotanto (18)
- 13) 12 mm combi WBP (5 kpl.)
- normaalituotanto (CO)
- 14) 12 mm Wisa-Form koivu WBP (5 kpl)
- normaalituotanto (WF)
- 15) 12 mm Wisa-Wire koivu WBP (5 kpl)
- normaalituotanto (WW)
- 16) 12 mm Kaukas Dieboard koivu INT (5 kpl)
- normaalituotanto (DB)

3.2.1. Koelevyjen ominaispiirteitä

Koelevyt 1-11 olivat kaikki 12 mm paksua koivuvaneria. Näissä levyissä oli kullekin levyille ominainen muuttuja, jonka vaikutusta vanerin käyristymiseen tutkittiin. Vertailulevynä käytettiin koelevyä N, joka oli normaalituotannossa valmistettu levy. Muut koelevyt 12-16 olivat tutkimuksessa mukana, koska niiden käyristymisestä tarvittiin lisää tietoa.

Koelevy HY valmistettiin siten, että ennen sorvausta valittiin mahdollisimman hyvälaatuisia ja lieriömäisiä pöllejä, joista valmistettiin koelevyt.

Koelevy HU valmistettiin siten, että ennen sorvausta valittiin mahdollisimman huonolaatuisia ja kieroja pöllejä, joista valmistettiin koelevyt.

Koelevy S valmistettiin siten, että viilujen ladontavaiheessa viilut käännettiin symmetrisesti sorvaushalkeamien suhteen.

Koelevy KL valmistettiin siten, että 1.- ja 4.-liimaviiluilla oli n. 4 % kosteusero.

Koelevy KP valmistettiin siten, että pintaviiluilla oli n. 4 % kosteusero.

Koelevy J valmistettiin siten, että liimaviilujen jatkoskohdat (kaksi jatkoskohtaa/liimaviilu) olivat kaikissa levyn liimaviiluissa samassa kohdassa.

Koelevy SK valmistettiin siten, että huonompana keskimmäisenä viiluna käytettiin saumauskappaleista lankasaumattua viilua.

Koelevy U valmistettiin n. 6 kuukautta vesivarastoidusta uitto-puusta.

Koelevy INT valmistettiin ureamelamiini-liimalla (INTERIOR A 70).

Koelevy OHU valmistettiin 1,2 mm viilusta (11 ply). Liimana käytettiin ureamelamiini-liimaa (INTERIOR A 70).

Koelevy 18 on normaalituotannon 18 mm paksua koivuvaneria. Liimana käytettiin ureamelamiini-liimaa (INTERIOR A 70).

Koelevy CO on normaalituotannon 12 mm combi-vaneria.

Koelevy WF on normaalituotannon 12 mm Wisa-Form -koivuvaneria. Molemmilla levyn pinnoilla on 120 g/m² fenolikalvopinnoite. Levy reunamaalattiin.

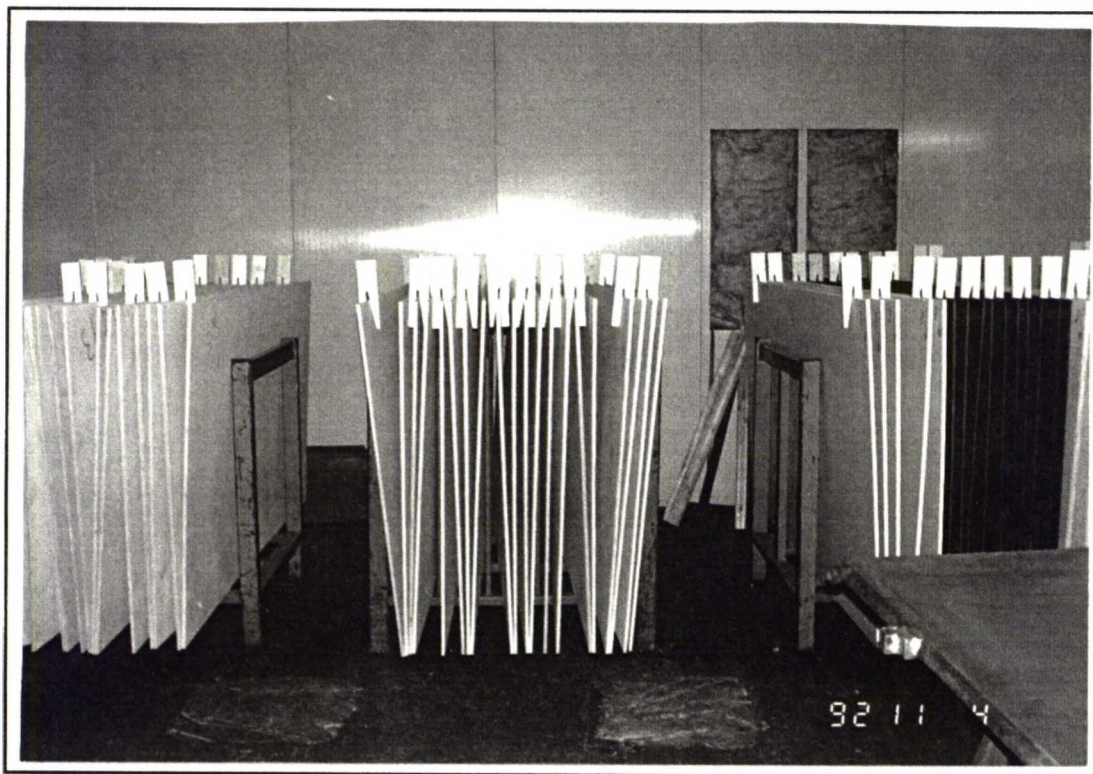
Koelevy WW on Savonlinnan tehtaiden normaalituotannon 12 mm Wisa-Wire -koivuvaneria. Toisella puolella on 120 g/m^2 viirapinnoitettu fenolikalvo ja toisella puolella on 120 g/m^2 sileä fenolikalvo. Levy reunamaalattiin.

Koelevy DB on Viipurin vaneritehtaan 12 mm Dieboard-koivuvaneria. Levy pinnoitettiin läpinäkyvällä erikoispaperilla, jonka neliöpaino on 180 g/m^2 . Levy reunamaalattiin.

3.3. Tehdaskokeet

3.3.1. Käyryystutkimus

Valmistettujen koelevyjen (140 kpl) käyryys mitattiin tehdasolosuhteissa heti valmistuksen jälkeen. Ensimmäisten käyryysmittausten jälkeen levyt jätettiin tasaantumaan tutkimusolosuhteisiin (kosteus RH n. 30 %, lämpötila n. 10°C). Levyjä tasaannutettiin pystysuorassa asennossa pidemmän sivun suhteen. Koelevyjen väliin jätettiin ilmarako tasaantumisen nopeuttamiseksi. Levyjen annettiin tasaantua kaksi viikkoa tasaantumistelineissä (kuva 34). Tasaantumisen jälkeen levyjen käyryys mitattiin.



Kuva 34. Levyjä tasaantumistelineissä.

3.3.2. Käyrityksen oikaisun tutkiminen

Koelevyjen käyryyden oikaisua tutkittiin 80 koelevyllä. Kokeita varten jätettiin viisi koelevyä levyistä 1-12 (yht. 60 kpl), sekä kaikki levyt 13-16 (yht. 20 kpl). Levyt kasattiin päällekkäin yhdeksi palleksi, joka laitettiin painon (kaksi pallettia yht. 4000 kg) alle oikeenomaan. Levyjen annettiin olla painon alla kuusi viikkoa, jonka jälkeen niiden käyryys mitattiin. Tuloksia verrattiin mittaustuloksiin ennen oikaisua.



Kuva 35. Koelevyjen oikaiseminen.

3.3.3. Levyjen paloittelun vaikutus käyritykseen

Levyn paloittelun vaikutusta käyritykseen tutkittiin siten, että otettiin kymmenen normaalituotannon 12 mm BB koivuvaneria (122 cm x 244 cm) ja annettiin niiden tasaantua kaksi viikkoa tasaantumistelineissä. Tasaantumisen jälkeen levyjen käyryys mitattiin. Tämän jälkeen viisi levyä sahattiin mittaan 61 cm x 244 cm. Muut viisi levyä sahattiin mittaan 122 cm x 122 cm. Sahauksen jälkeen levykappaleiden (20 kpl) käyryys mitattiin.

3.3.4. Levyjen kosteus kuumapuristimen jälkeen

Levyn kosteutta kuumapuristuksen jälkeen tutkittiin ottamalla kosteusnäytteitä levyistä (kts. kuva 41), sekä laadunvalvonnassa kerättyjen kosteusseurantatulosten avulla.

3.3.5. Kosteus- ja lämpötilaseuranta

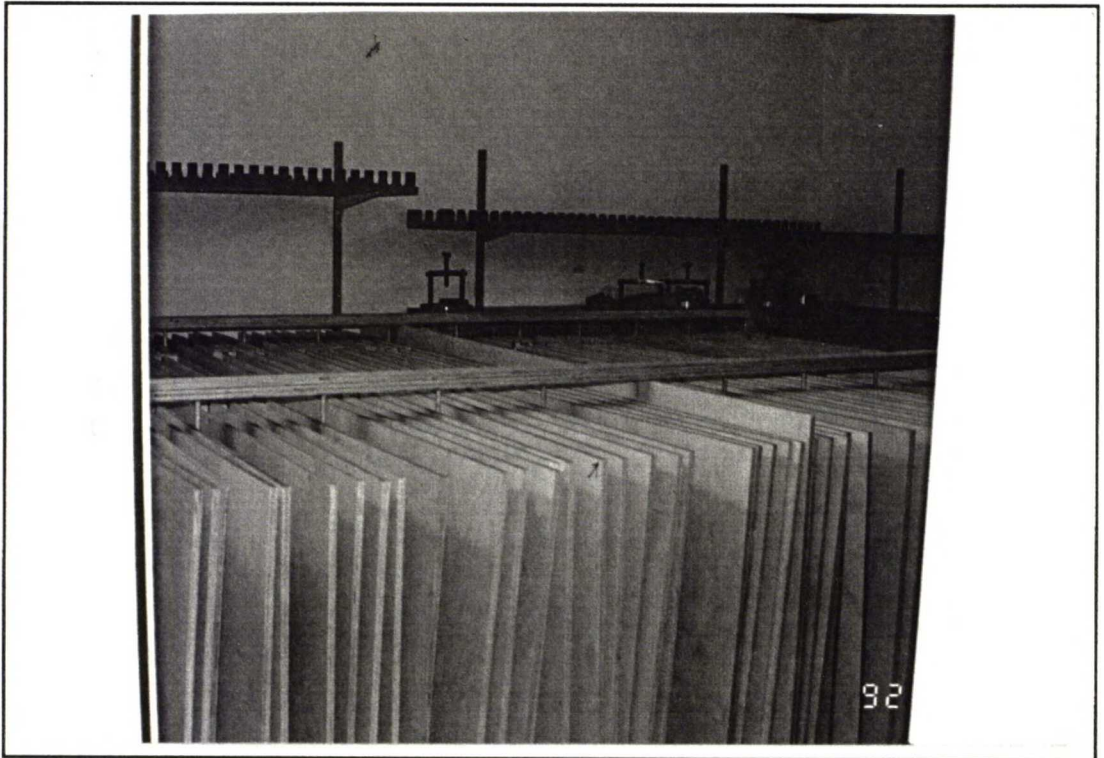
Kokeiden aikana tarkkailtiin tehtaan eri osastojen, varaston ja ulkoilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa (sekä myös viiluvastojen puuntasapainokosteutta). Kosteusmittareina käytettiin kalibroituja hiuskosteusmittareita.

3.4. Laboratoriokokeet

Puolet (5 kpl) koelevyistä 1-12 (yht. 60 kpl) siirrettiin Savonlinnaan laboratoriotutkimuksia varten. Laboratoriokokeet tehtiin kosteushuoneessa, jonka kosteusolosuhteita voitiin halutulla tavalla säätää. Tutkittavien levyjen käyristymistä tutkittiin eri kosteusolosuhteissa. Laboratoriokoe koostui seuraavista koeolosuhteista:

1. vaihe : RH 50 %, 20 °C, 2 viikkoa
2. vaihe : RH 85 %, 20 °C, 2 viikkoa
3. vaihe : RH 30 %, 20 °C, 3 viikkoa

Levyt tasaannutettiin samassa asennossa kuin tehdaskokeissa. Niiden käyryys määritettiin jokaisen tasaannuttamisvaiheen jälkeen erikseen. Levyjen kosteutta seurattiin eri tasaannuttamisvaiheissa (kts. kuva 41).



Kuva 36. Koelevyjä kosteushuoneessa tasaantumistelineissä.

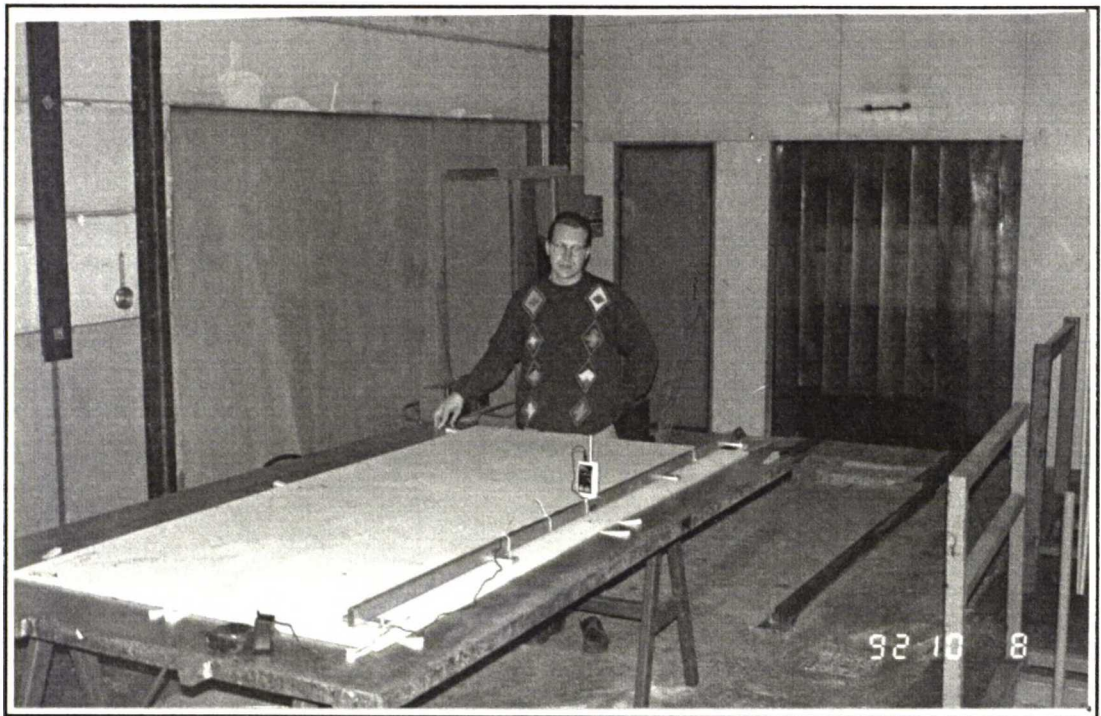
3.5. Mittaukset

3.5.1. Käyryysmittaukset

Koelevyjen käyryydet mitattiin kahdella eri periaatteella, joita kutsutaan seuraavasti:

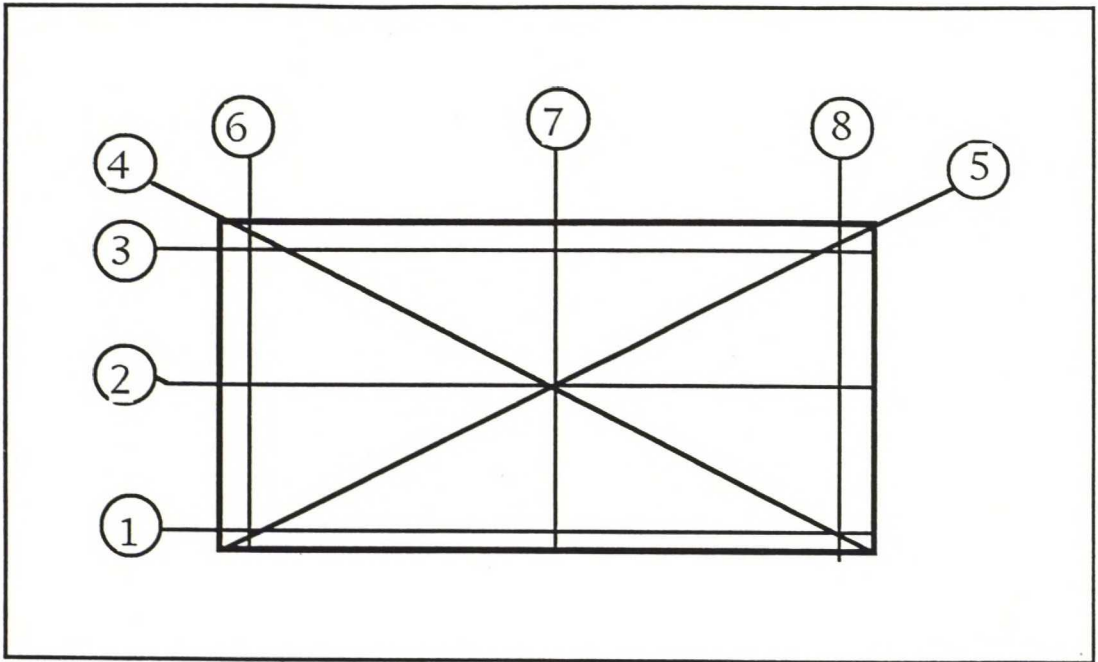
- a) laboratoriomittaus
- b) asiakasmittaus.

Laboratoriomittaus kehitettiin eri standardien sekä vanhojen tutkimusten pohjalta. Mittausalustana käytettiin tasaista mittauspöytää, joka valmistettiin puristimen lämpölevystä (kuva 37).



Kuva 37. Mittauspöytä, mitattava levy, käyryysmittari ja puukiilat.

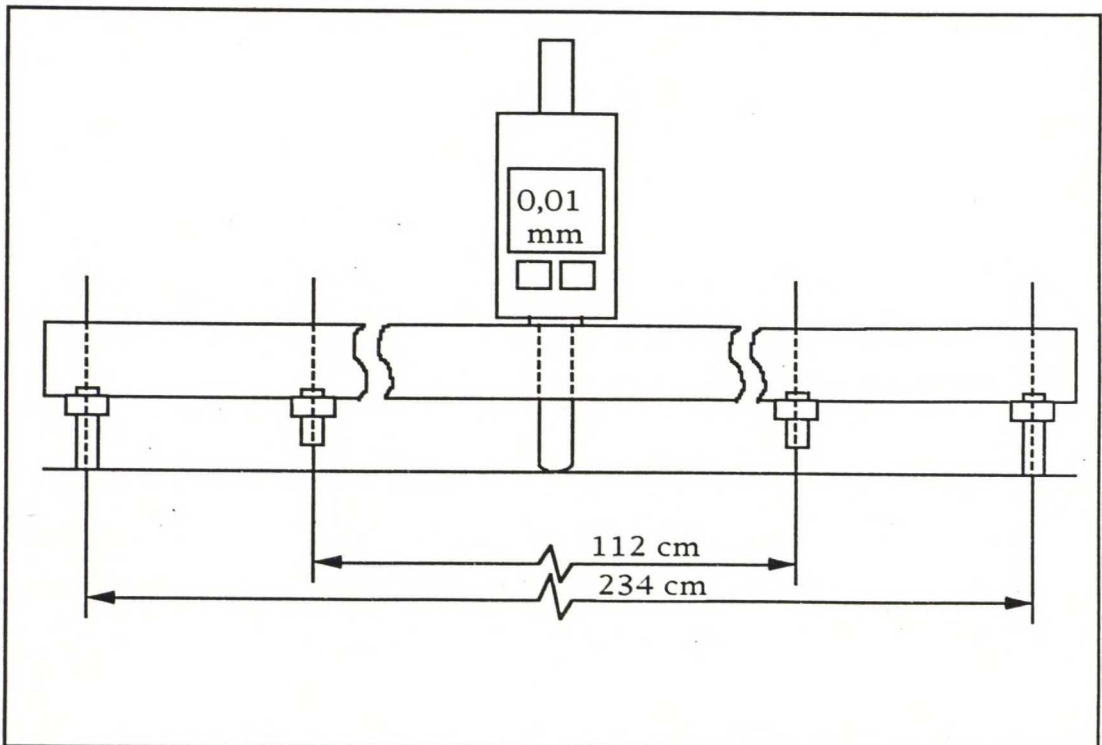
Levyjen käyryys määritettiin ensin silmämääräisesti, vapaasti pystyasennossa. Tämän tarkastelun perusteella levy asetettiin aina kovera puoli ylöspäin mittauspöydälle - käyryyden mittaus tapahtui vaakasuorassa asennossa. Koska käyryysmittarin oma paino pyrki väärentämään (pienentämään) levyjen käyryyksiä, mittarin painon vaikutuksen eliminoimiseksi mitattavan levyn reunaan (mittauslinjojen kohdille) asetettiin pienet puukiilat (kts. kuva 37). Mittaus tehtiin kuvan 38 mukaisesti kahdeksasta eri linjasta.



Kuva 38. Mittauslinjat.

Käyryys levyn leveyssuunnassa mitattiin linjoilta 1,2 ja 3. Levyn kierous mitattiin linjoilta 4 ja 5. Käyryys levyn pituussuunnassa mitattiin linjoilta 6,7 ja 8. Levyn pituussuunnalla tarkoitetaan samaa suuntaa kuin pintaviilun syysuunta.

Laboratoriomittauksia varten rakennettiin mittari, jonka avulla käyryys ja kierous levyn tason suunnassa määritettiin. Kuvassa 39 on esitetty periaatekuva käyryysmittarista.

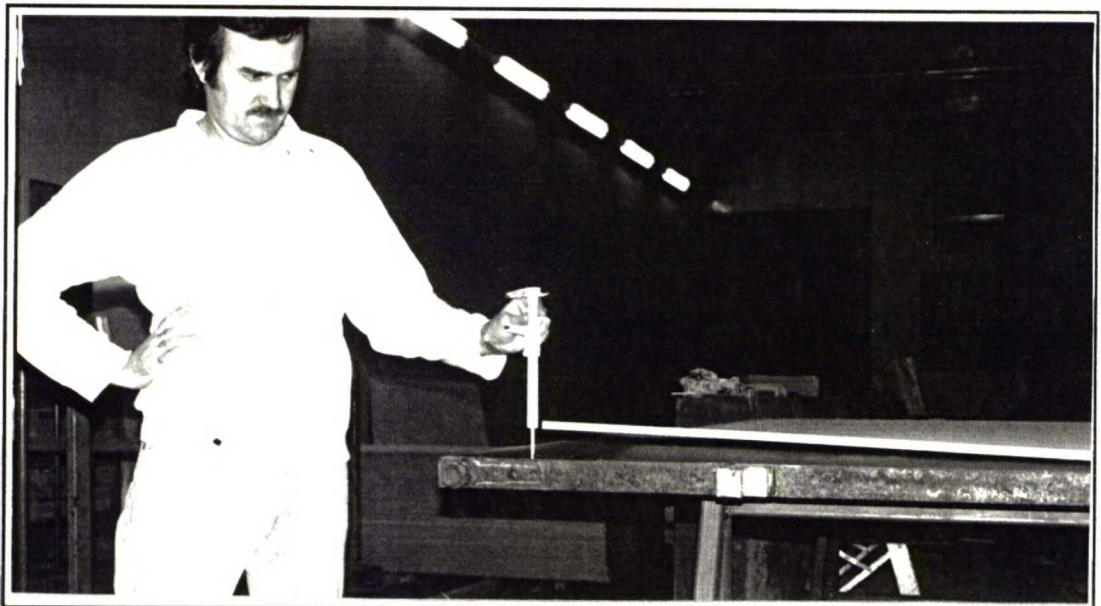


Kuva 39. Käyryysmittari.

Mittarin alumiinirungossa on neljä kiinteää mittajalkaa. Korkeampien mittajalkojen (etäisyys toisistaan 234 cm) avulla mitataan käyryys levyn leveyssuunnassa (linjoilta 1,2 ja 3) sekä levyn kierous (linjoilta 4 ja 5). Lyhyempien mittajalkojen (etäisyys toisistaan 112 cm) avulla mitataan käyryys levyn pituussuunnassa (linjoilta 6,7 ja 8). Mitan rungon keskelle asennettiin MITUTOYO Digimatic Indicator -mittari. Digitaalimittarin mittaustarkkuus on 0,01 mm (kokeissa käytettiin 0,1 mm:n mittatarkkuutta). Käyryysmittari nollattiin tasaista mittauspöytää vasten ennen varsinaista mittausta. Käyryysmittari määrittää levyn käyryyden (tai kierouden) kunkin mittaustasolinjan keskikohdalta. Digitaalimittari ilmoittaa, kuinka paljon mittarin kärki poikkeaa kiinteiden mittajalkojen muodostamasta tasosta.

Mittari ilmoitti levyn koveruuden plus- ja kuperuuden miinusmerkkisenä. Levyn käyryydet (mm/m) määritettiin tulosten itseisarvoista (sama periaate kuin Kemppaisella /9./). Levyn kierous (mm) määritettiin mittaustasolinjojen 4 ja 5 tulosten erotuksen itseisarvona (sama periaate kuin tutkimuksissa /11./ ja /12./). Tuloksissa ilmoitetaan käyryydet ja kierous kunkin levytyypin keskiarvoina.

Asiakasmittaus on yksinkertaisempi käyryyden (kierouden) mittausten menetelmä. Se on kehitetty nimenomaan asiakkaita varten. Mittausmenetelmän mallina oli ruotsalaisen standardin (SIS 83 01 10) mukainen menetelmä. Asiaksmittauksessa levy asetettiin samalla tavalla kuin laboratoriomittauksessa: kovera puoli ylöspäin mittauspöydälle. Mitattavan levyn neljästä kulmasta valittiin se kulma, jonka etäisyys mittaustasosta on suurin. Kolme muuta levyn kulmaa tuetaan kiinni tasoon, ja neljännen kulman etäisyys tasosta (mm) mitattiin. Mittaus suoritettiin tavallisella työntömitalla (mittaustarkkuus 0,1 mm).

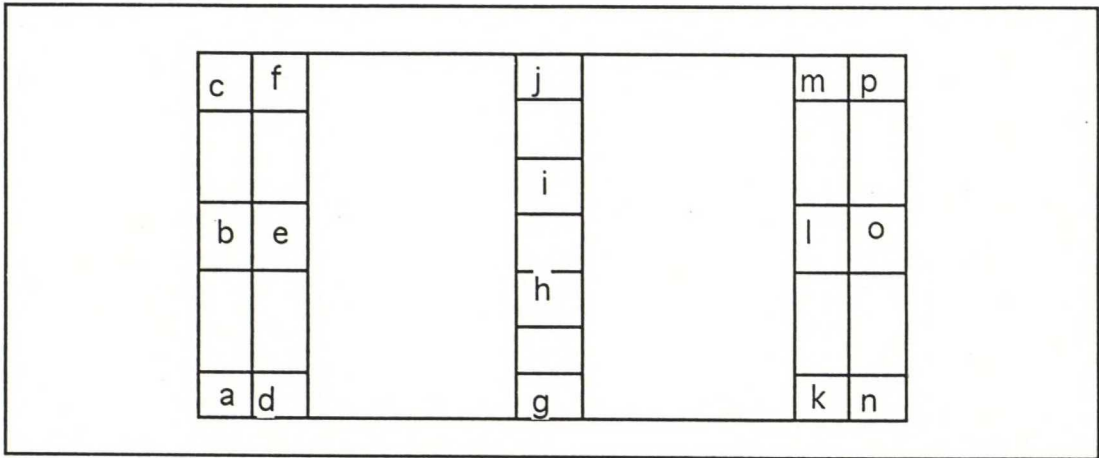


Kuva 40. Asiaksmittauksen periaate.

3.5.2. Kosteusmittaukset

Koelevyihin käytetyistä viiluista (BB, PK ja HK) otettiin kosteusnäytteet. Viilujen kosteudet määritettiin kuivatus-punnitus -menetelmällä.

Koelevyjen kosteutta seurattiin eri tasaannutusolosuhteissa siten, että kokeissa oli mukana ylimääräisiä levyjä, joista määritettiin levyn sisäinen kosteusjakauma kunkin tasaannutusvaiheen jälkeen. Kosteusnäytepalat sahattiin kosteusnäytelevyistä kuvan 41 mukaisesti ja niiden kosteudet määritettiin kuivatus-punnitus -menetelmällä.



Kuva 41. Kosteusnäytepalat (a-p).

3.6. Täydentävät kokeet

Täydentävät kokeet tehtiin lisänä tehdaskokeisiin ja niissä tutkittiin 18 mm koivuvanerin käyrästymistä.

Valmistetut koelevyt:

- 1) 18 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- normaalituotanto (N)
- 2) 18 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- huonolaatuinen, käyrä pölli (HU)
- 3) 18 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- viilujen symmetrinen ladonta sorvaushalkeamien suhteen (S)
- 4) 18 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- lankasaumatut kuivat viilut (SK)
- 5) 18 mm BB koivu WBP (10 kpl)
- ohut viilu 1,2 mm, 16 ply (OHU)

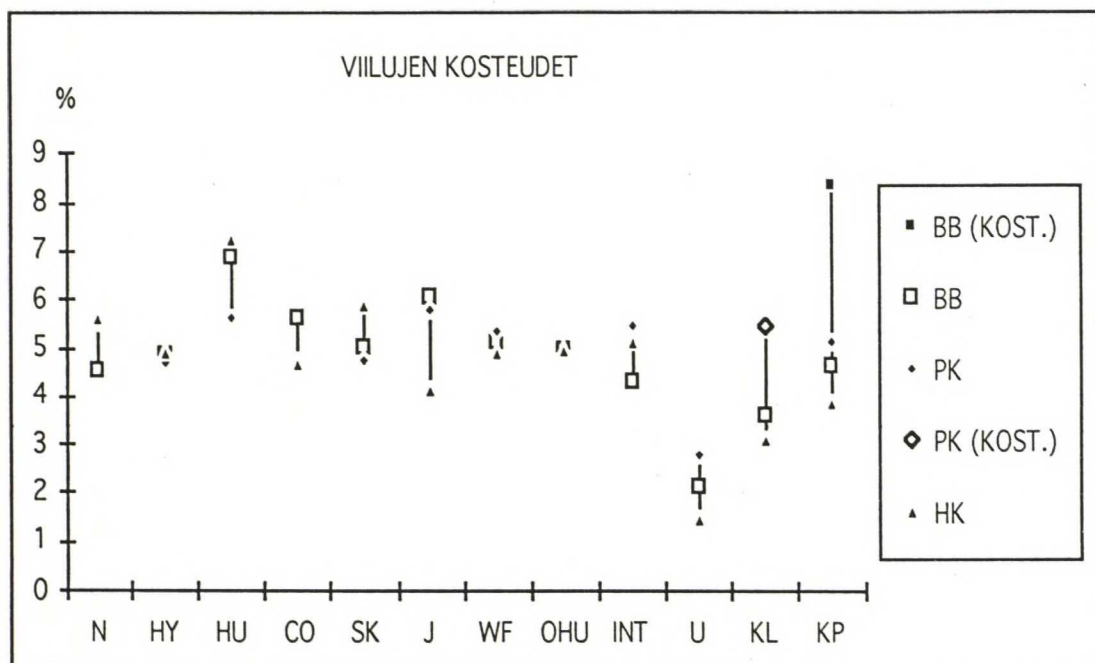
Valmistuksen jälkeen levyjä tasaannutettiin pystysuorassa asennossa pidemmän sivun suhteen. Koelevyjen väliin jätettiin ilmaraako tasaantumisen nopeuttamiseksi. Levyjen annettiin tasaantua kaksi viikkoa tasaantumistelineissä (kosteus RH n. 30 %, lämpötila n. 10 °C). Tasaantumisen jälkeen levyjen käyryys ja kierous mitattiin.

4. TULOKSET

4.1. Tehdaskokeet

4.1.1. Viilujen kosteudet

Koelevyjä valmistettiin yhteensä 140 kappaletta. Ne pyrittiin valmistamaan mahdollisimman tuoreista viiluista kosteuserojen minimoimiseksi. Koelevyihin käytetyistä viilukuormista BB, PK ja HK otettiin kosteusnäytteitä. Liitteestä 1 nähdään viilujen kosteusarvot. Kuvassa 42 on esitetty viilujen kosteudet graafisesti. Kaikkien koelevyjen viiluista ei saatu kosteusnäytteitä.



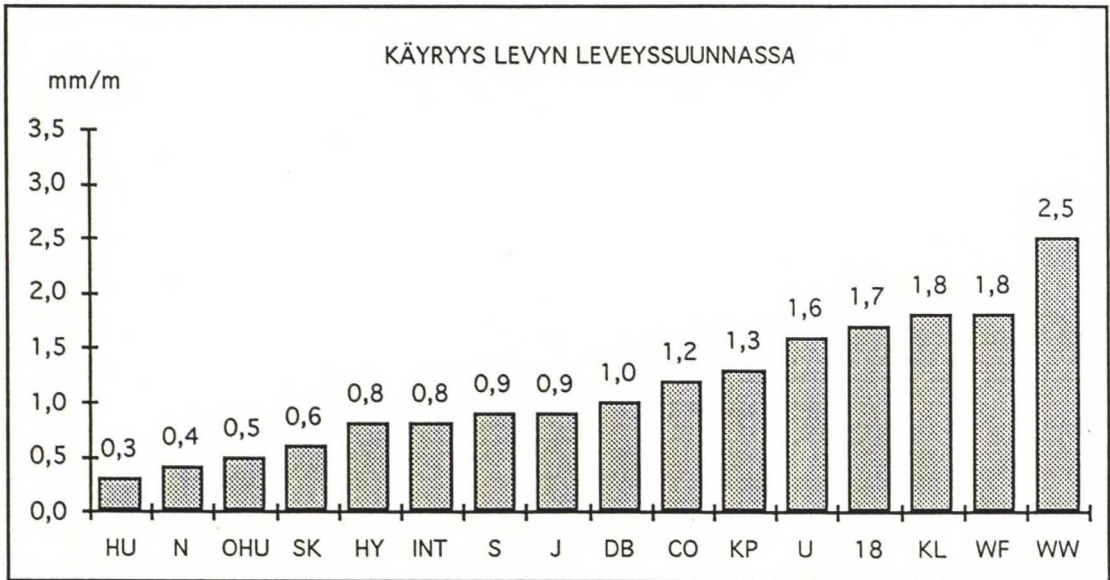
Kuva 42. Viilujen kosteudet.

Kuvasta nähdään, millä kosteusalueilla eri koelevyjen viilut olivat ladontavaiheessa. Koelevyllä KL, jossa 1. ja 4. liimaviilulla piti olla n. 4 %:n kosteusero, ei kosteusero näy kuvasta. Tämä johtuu siitä, että kosteusnäytteet otettiin kuivien PK viilujen reunoista (viilun keskellä kosteus oli pienempi), jolloin todellista kosteuseroa ei mittaustulosten avulla saatu näkyviin. Käyritystulokset tuonempana kuitenkin vahvistavat, että kosteusero liimaviiluilla oli riittävä.

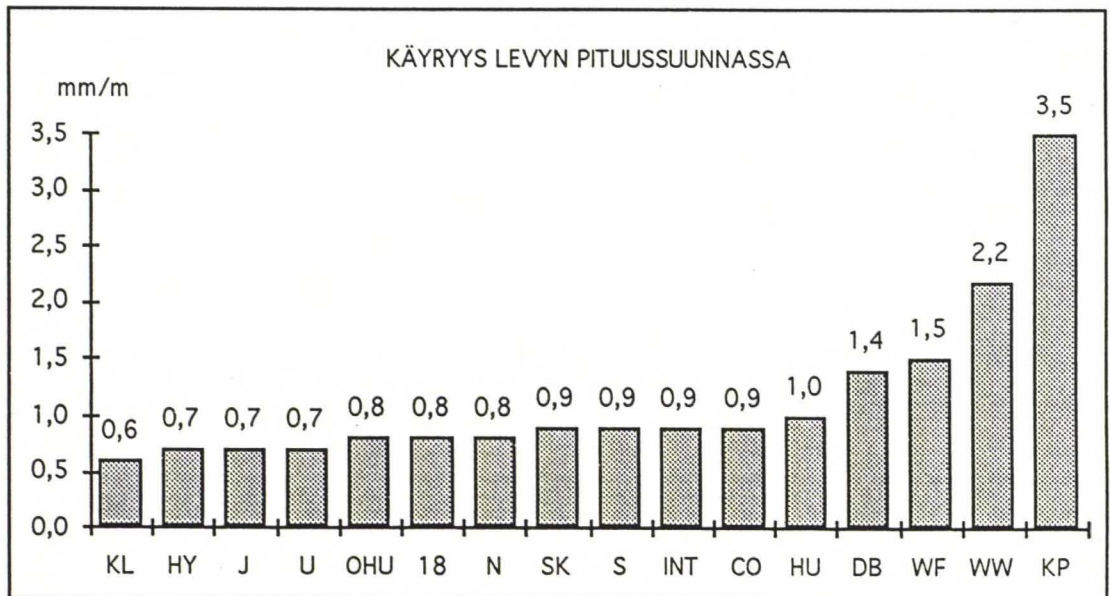
4.1.2. Levyjen käyryys heti valmistuksen jälkeen

Koelevyjen käyryys leveys- ja pituussuunnassa, kierous sekä asiakasmittaus mitattiin mahdollisimman pian (noin 1 vrk) valmistuksen jälkeen. Levyt WW ja DB tilattiin muilta tehtailta, joten niiden osalta tuloksia tulee tarkastella pienellä varauksella.

Liitteessä 2 on esitetty mittaustulosten keskiarvot, hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot. Seuraavissa kuvissa nähdään tulokset, joissa levyt on asetettu paremmuusjärjestykseen vasemmalta oikealle mittaustulosten perusteella.

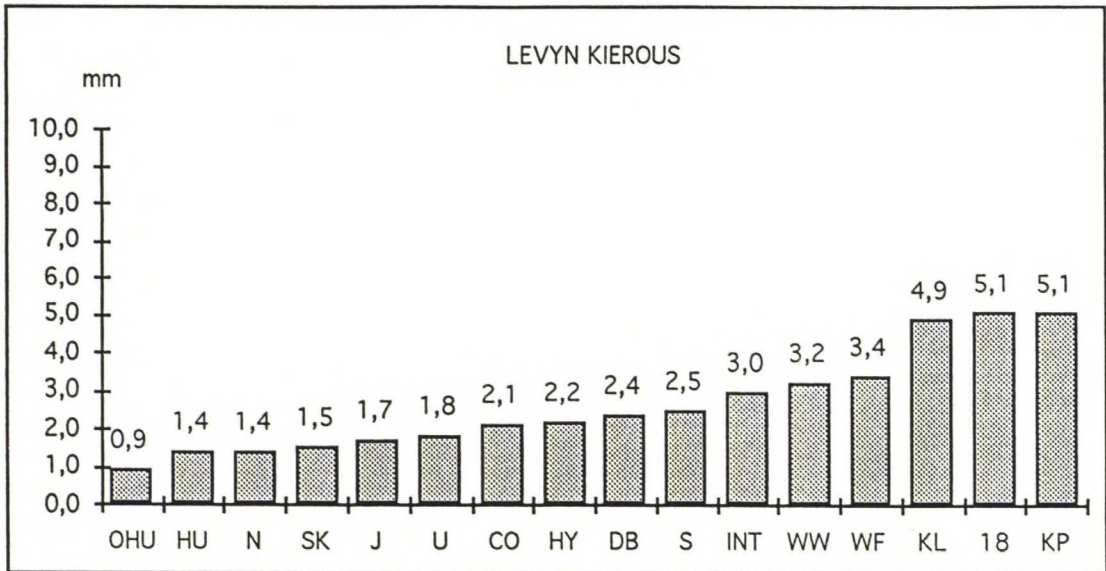


Kuva 43. Käyryys levyn leveyssuunnassa heti valmistuksen jälkeen (keskimäärin 1,1 mm/m).

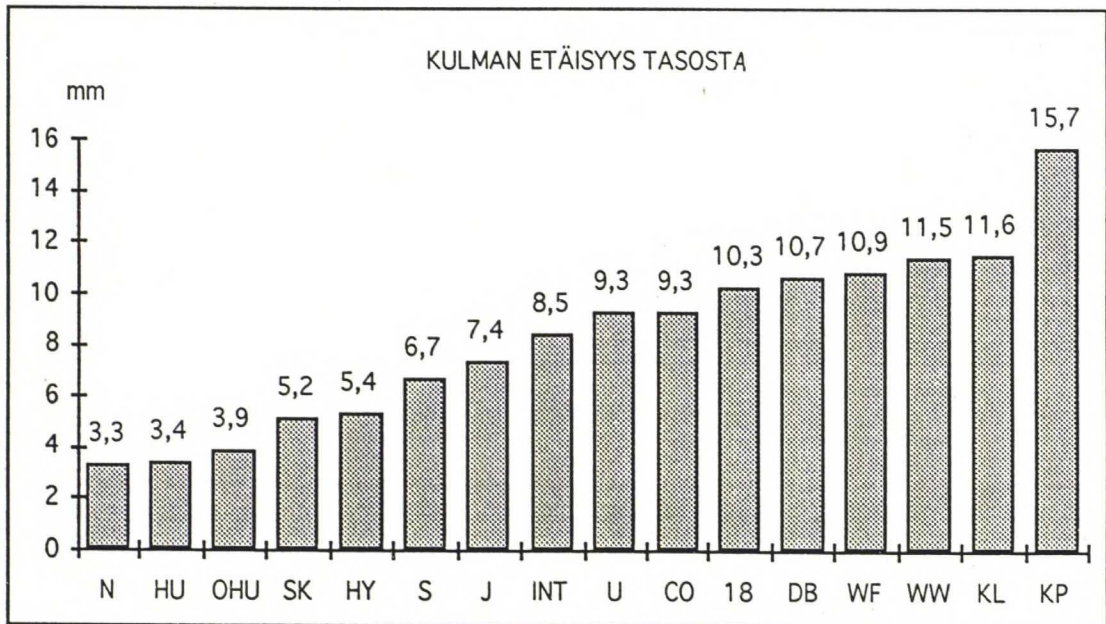


Kuva 44. Käyryys levyn pituussuunnassa heti valmistuksen jälkeen (keskimäärin 1,1 mm/m).

Levyjen leveys- ja pituussuuntainen käyryys on ilmoitettu yksiköllä mm/m. Levyjen kierous ja asiakasmittauksen tulokset yksiköllä mm.



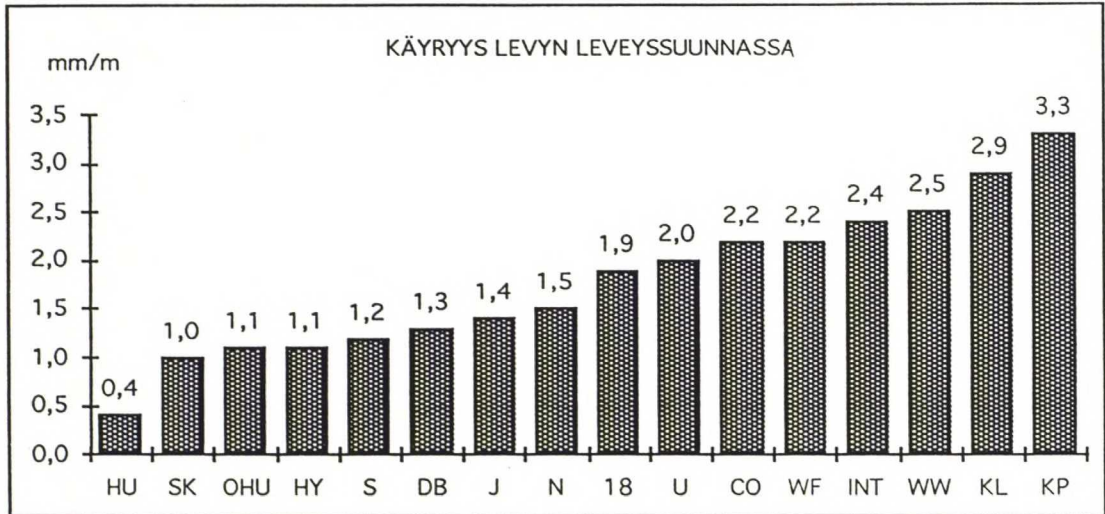
Kuva 45. Levyn kierous heti valmistuksen jälkeen (keskimäärin 2,7 mm).



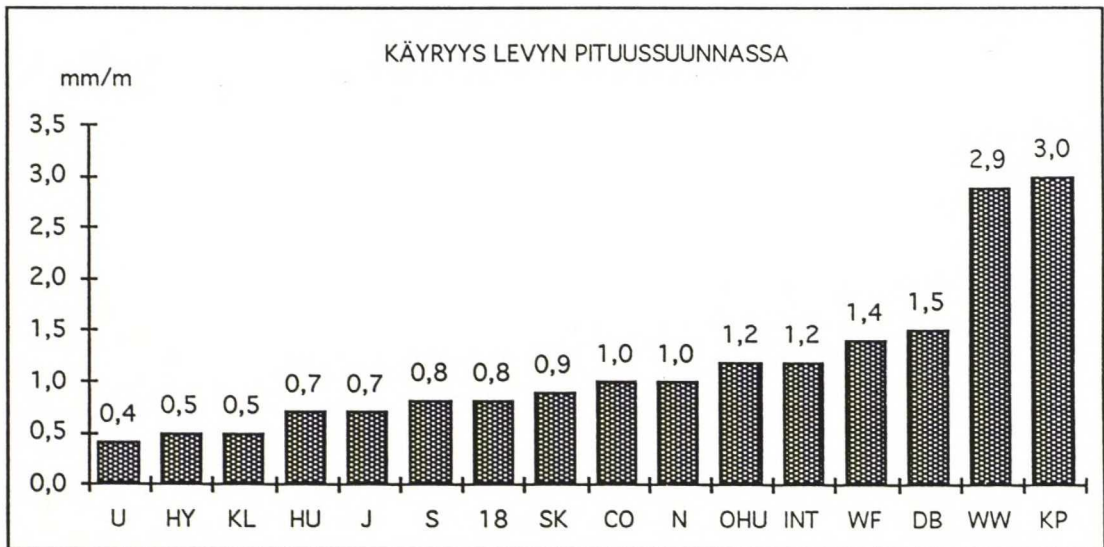
Kuva 46. Asiakasmittauksen tulokset heti valmistuksen jälkeen (keskimäärin 8,3 mm).

4.1.3. Levyjen käyryys tasaannutuksen jälkeen

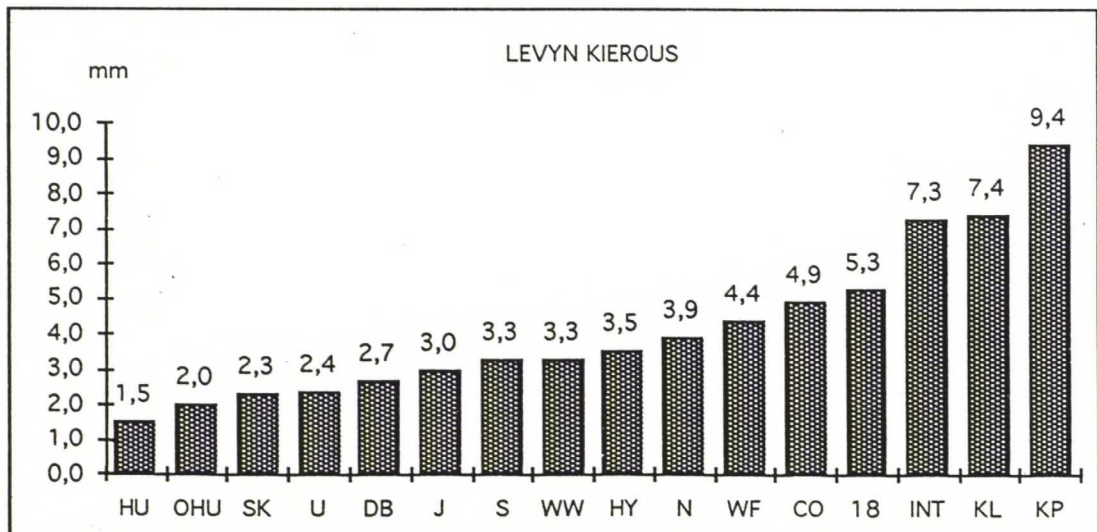
Kun levyt oli mitattu heti valmistuksen jälkeen, niiden annettiin tasaantua kaksi viikkoa tasaantumistelineissä. Koelevyjen odotettiin tässä ajassa tasaantuvan ympärillä vallitseviin olosuhteisiin (RH n. 30 %, n. 10 ° C) ja käyristyvän sekä kieroutuvan ominaisuuksiensa mukaisesti. Liitteessä 3 on esitetty mittaustulosten keskiarvot, hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot. Seuraavissa kuvissa nähdään tulokset, joissa koelevyt on asetettu paremmuusjärjestykseen vasemmalta oikealle mittaustulosten perusteella.



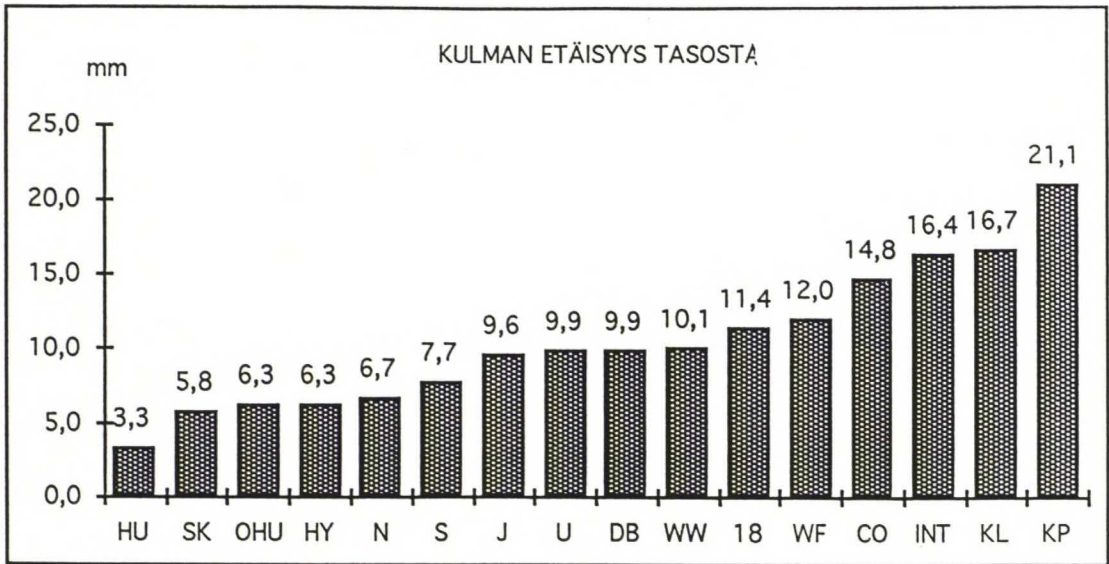
Kuva 47. Käyryys levyn leveyssuunnassa tasaannutuksen jälkeen (keskimäärin 1,8 mm/m).



Kuva 48. Käyryys levyn pituussuunnassa tasaannutuksen jälkeen (keskimäärin 1,2 mm/m).



Kuva 49. Levyn kierous tasaannutuksen jälkeen (keskimäärin 4,2 mm).



Kuva 50. Asiakasmittauksen tulokset tasaannutuksen jälkeen (keskimäärin 10,5 mm).

Mittauksien yhteydessä tarkkailtiin myös seuraavia tekijöitä:

- Onko ladonnalla ja kuumapuristuksella vaikutusta siihen, miten päin levy käyristyy?
- Kuinka paljon käyristyminen vaihtoi puolta tasaantumisvaiheen aikana?
- Säilyikö asiakasmittauksessa mitattava levyn kulma samana molemmissa mittauksissa?

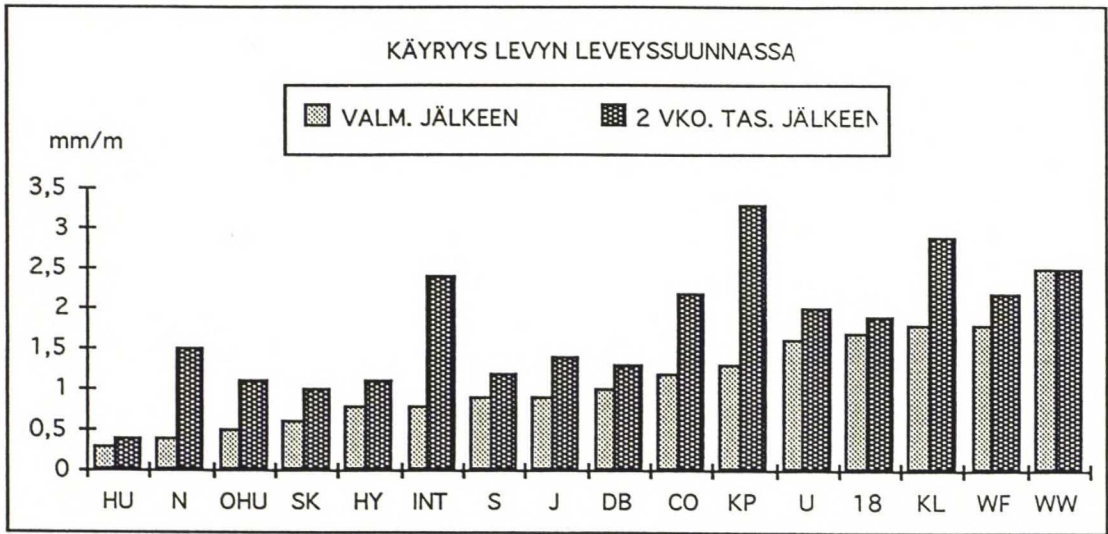
Tulokseksi saatiin, että 37 % levyistä käyristyi yläpinnastaan koveraksi. Yläpinnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä pintaa, joka on ladonta- ja puristusvaiheessa ollut ylöspäin. Yleisesti voidaan todeta, ettei levyn ladonta- tai puristuspuolella ole merkittävää vaikutusta siihen, kummalle puolelle levy tasaantumisen jälkeen käyristyy.

Tasaantumisvaiheen aikana käyristyminen vaihtoi puolta 15 %:ssa levyistä. Voidaankin todeta, että käyristymisen puolen vaihtuminen on enemmänkin poikkeus kuin sääntö.

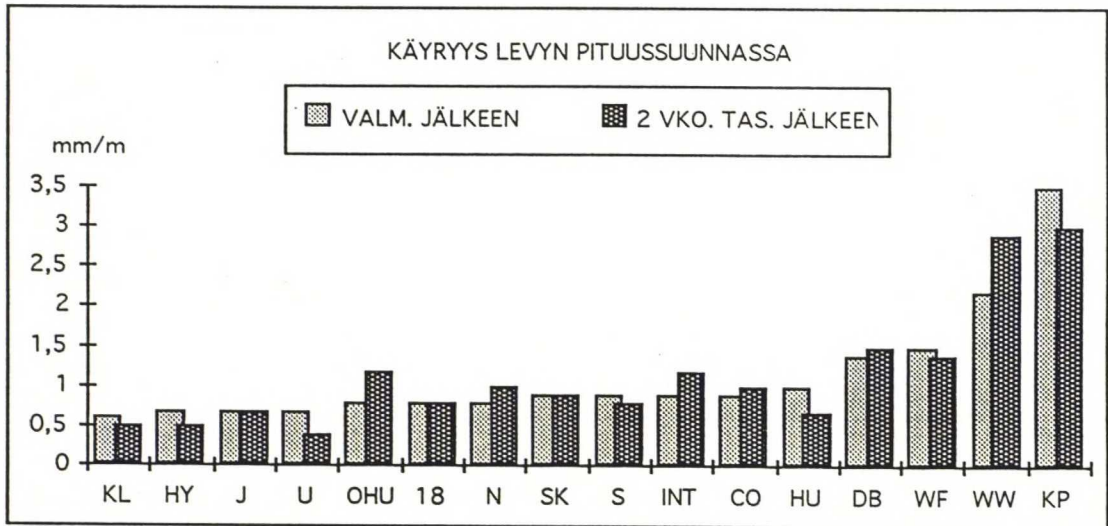
Asiakasmittauksessa heti valmistuksen jälkeisissä mittauksissa valittu kulma säilyi samana 68 %:ssa levyistä.

4.1.4. Valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeisten tulosten vertailu

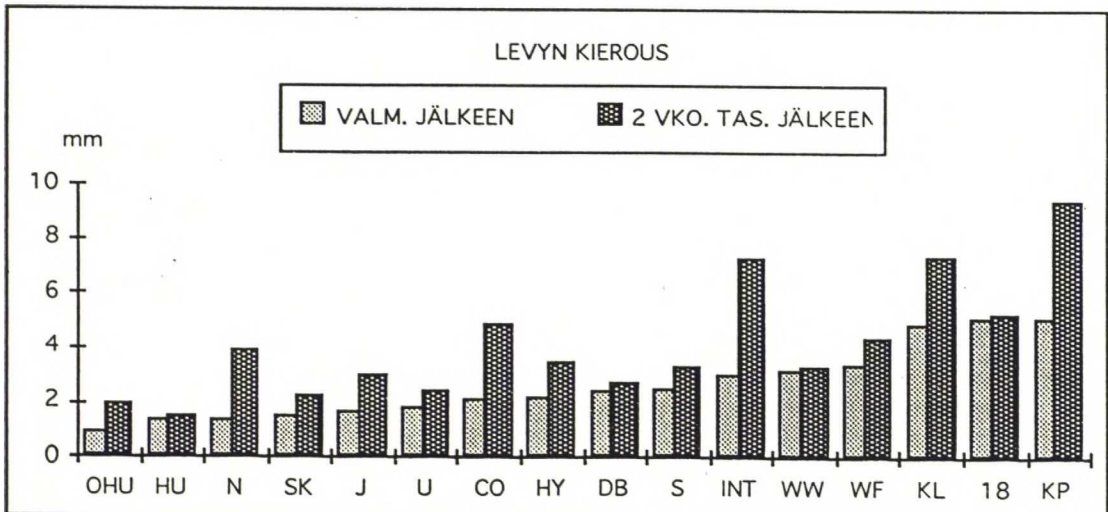
Tässä kappaleessa on edellä esitetyt tulokset esitetty samassa kuvassa vertailun vuoksi. Kuvista käy hyvin ilmi valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeisten mittauksien välinen ero.



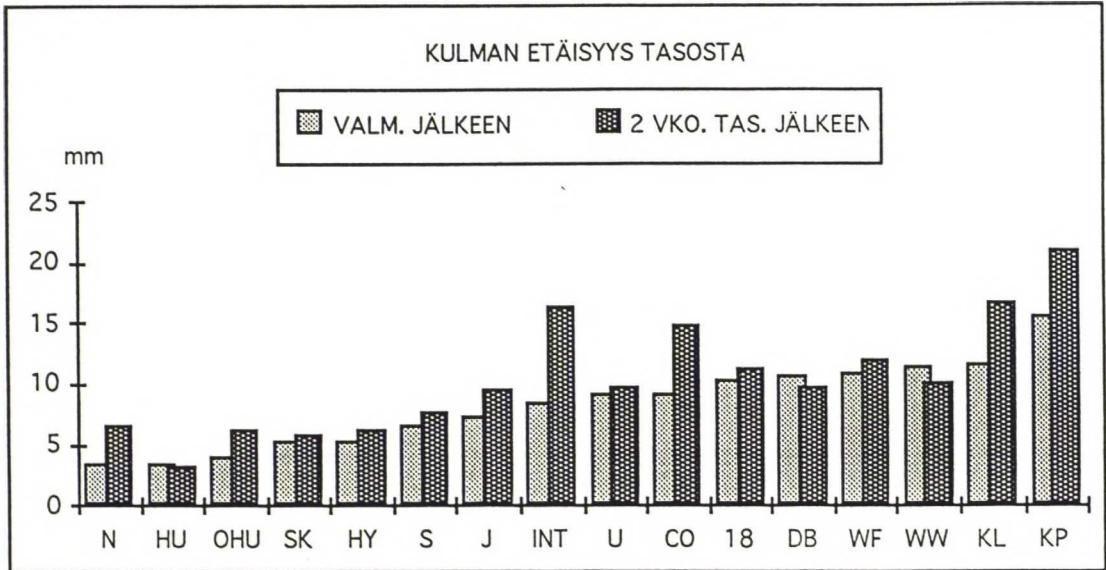
Kuva 51. Käyryys levyn leveyssuunnassa heti valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeen.



Kuva 52. Käyryys levyn pituussuunnassa heti valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeen.



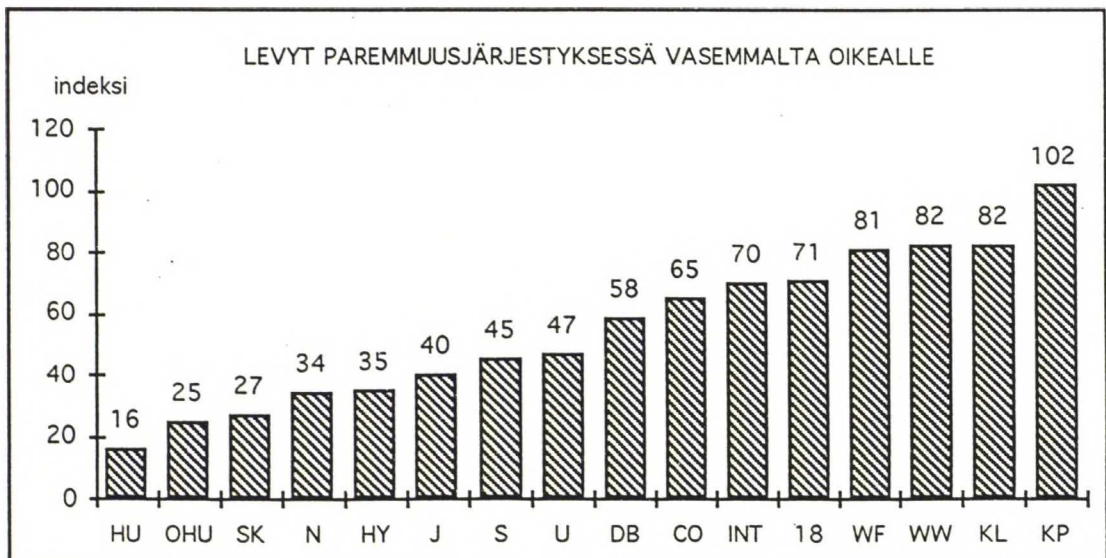
Kuva 53. Levyn kierous heti valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeen.



Kuva 54. Asiakasmittauksen tulokset heti valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeen.

Tasaannutuksen jälkeen käyryys levyn leveyssuunnassa kasvoi keskimäärin 33 %. Käyryys levyn pituussuunnassa väheni keskimäärin 6 %. Kierous kasvoi keskimäärin 32 %. Asiakasmittauksessa kulman etäisyys tasosta kasvoi keskimäärin 18 %.

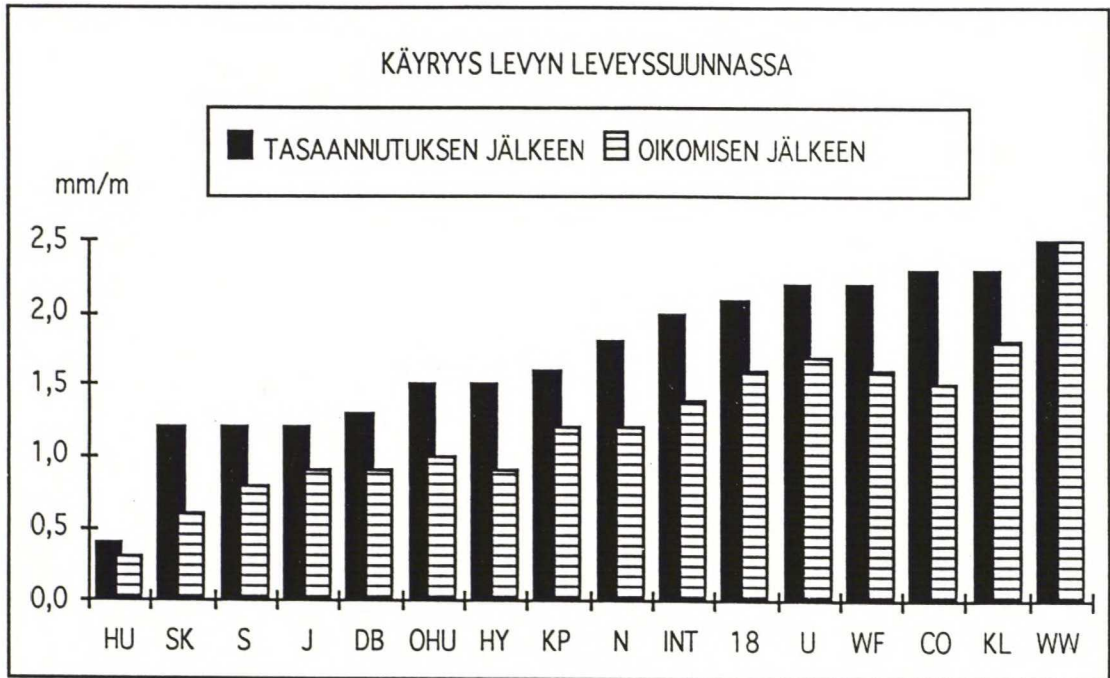
Edellä esitettyjen tulosten perusteella (kuvat 43-50) levyt on laitettu paremmuusjärjestykseen. Paremmuusjärjestys on laadittu siten, että jokaisen kuvan koelevyt on asetettu paremmuusjärjestykseen vasemmalta oikealle (sijaluku 1 antaa yhden pisteen, sijaluku 2 kaksi pistettä jne). Kuvia, joiden perusteella sijalukupisteitä jaetaan, on yhteensä kahdeksan. Kaikkien kuvien sijalukupisteet lasketaan yhteen, jolloin saadaan sijalukuindeksi. Kunkin levytyypin sijalukuindeksi käy ilmi kuvasta 55. Pieni sijalukuindeksi ilmaisee, että levytyyppi on menestynyt keskimäärin eri mittauksissa hyvin. Paras mahdollinen indeksiluku on kahdeksan (jokaisessa mittauksessa paras).



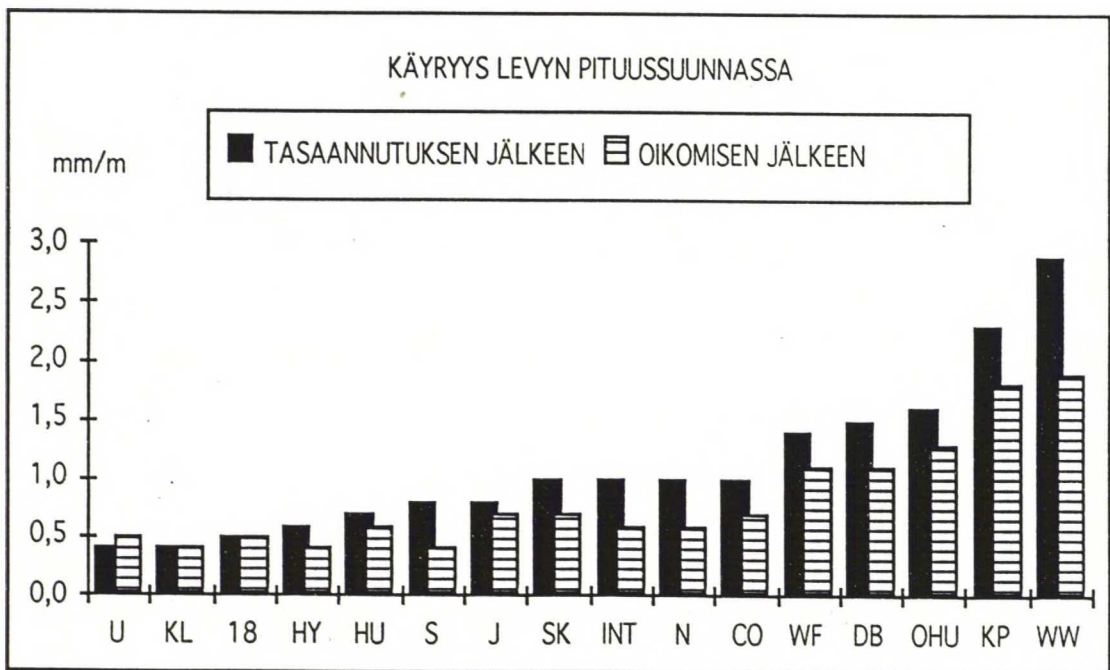
Kuva 55. Levyt paremmuusjärjestyksessä.

4.1.5. Oikaisukokeen tulokset

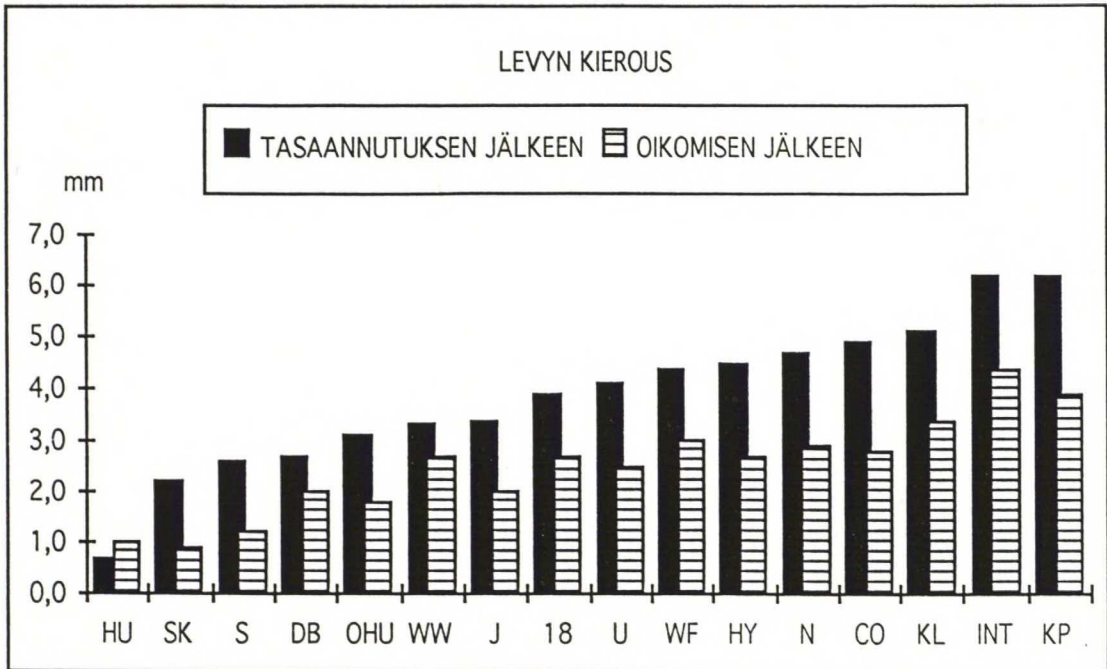
Oikaisukokeessa tutkittavia levyjä pidettiin painon alla kuusi viikkoa, jonka jälkeen levyt mitattiin. Mittaustuloksia verrattiin tasaantumiskokeen tuloksiin. Liitteissä 4 (tasaantumiskoe) ja 5 (oikaisukoe) on esitetty mittaustulosten keskiarvot, hajonnat sekä minimi- ja maksimi-arvot.



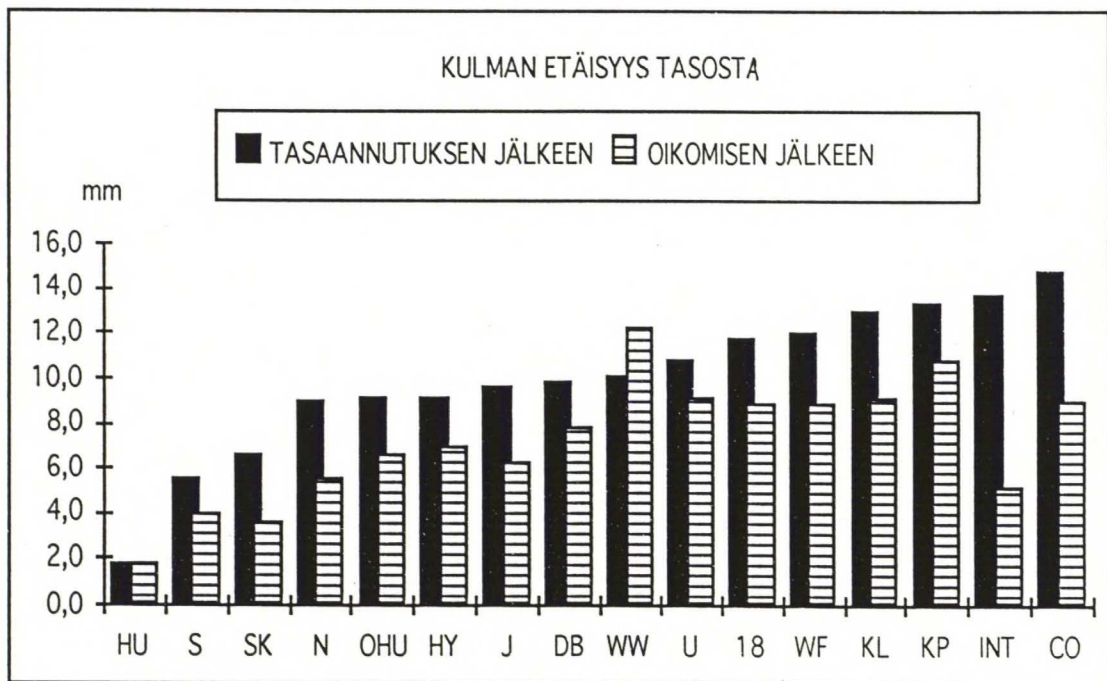
Kuva 56. Oikaisun vaikutus levyn leveyssuunnassa.



Kuva 57. Oikaisun vaikutus levyn pituussuunnassa.



Kuva 58. Oikaisun vaikutus levyn kierouteen.

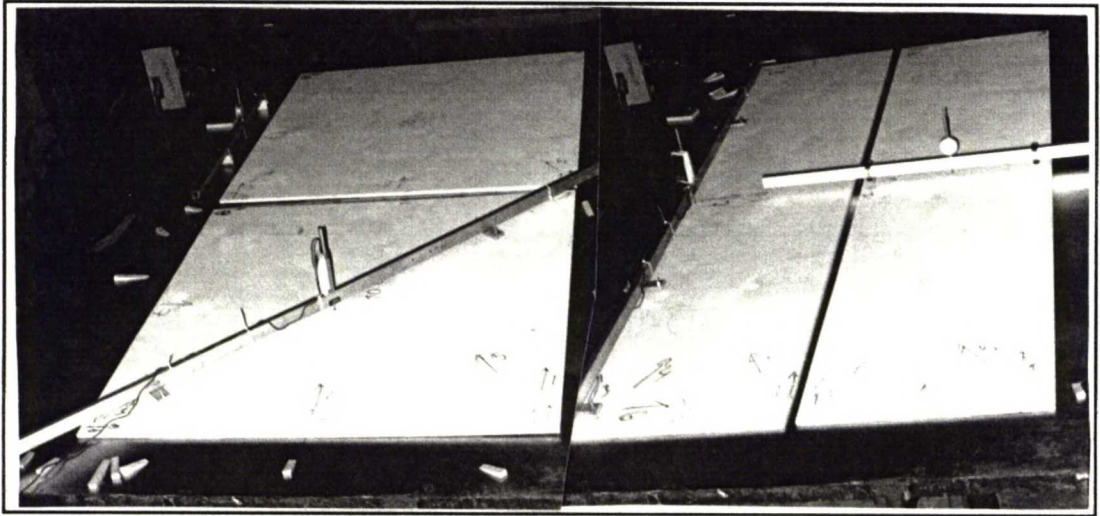


Kuva 59. Oikaisun vaikutus asiakasmittauksen tuloksiin.

Oikaisukokeessa oli mukana yhteensä 80 koelevyä. Oikaisun jälkeen käyryys levyn leveyssuunnassa väheni keskimäärin 27 %. Käyryys levyn pituussuunnassa väheni keskimäärin 22 %. Oikaisun vaikutus levyn kierouteen oli, että kierous väheni keskimäärin 33 %. Asiaksmittauksessa kulman etäisyys tasosta pieneni keskimäärin 26 %.

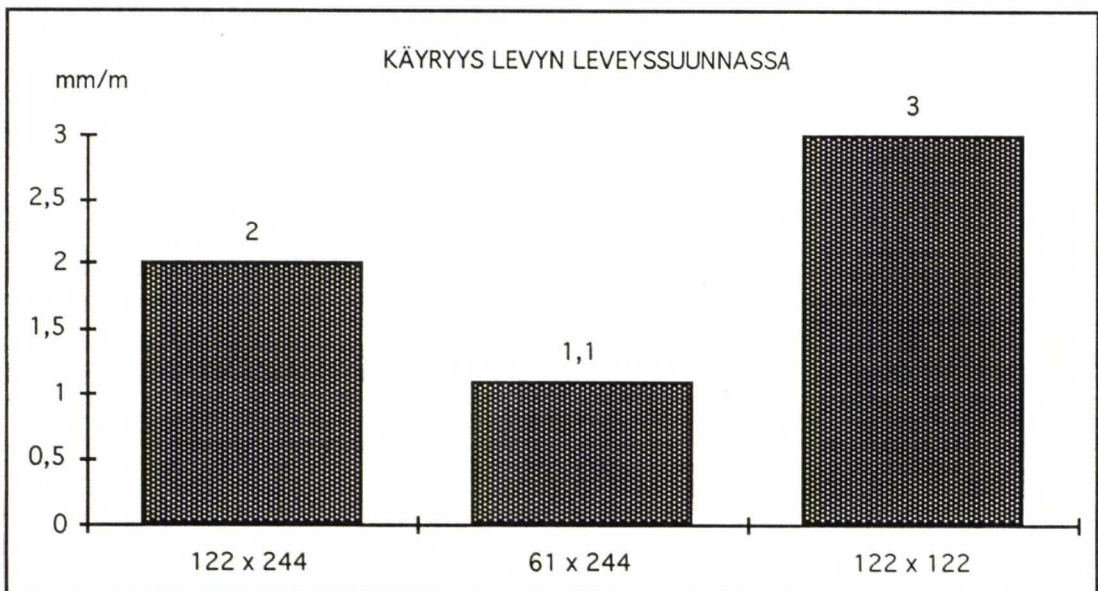
4.1.6. Paloittelukokeen tulokset

Paloittelun vaikutusta käyristymiseen tutkittiin kymmenellä vanerilevyllä (122 cm x 244 cm). Levyt tasaannutettiin ja mitattiin, jonka jälkeen ne paloitteltiin suorakaiteiksi (61 cm x 244 cm) ja neliöiksi (122 cm x 122 cm). Tämän jälkeen palat mitattiin.

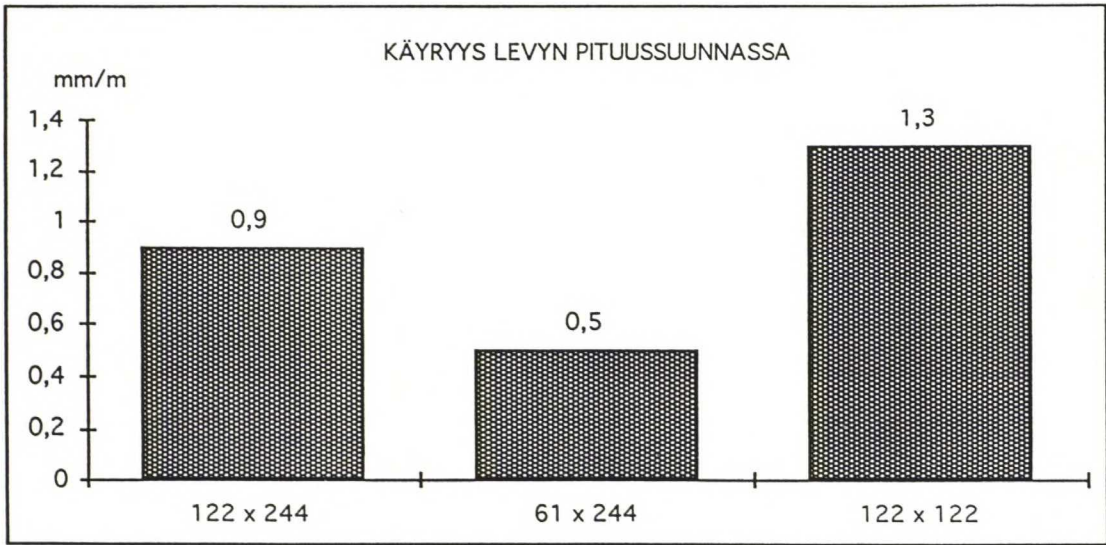


Kuva 60. Levyjen paloittelu.

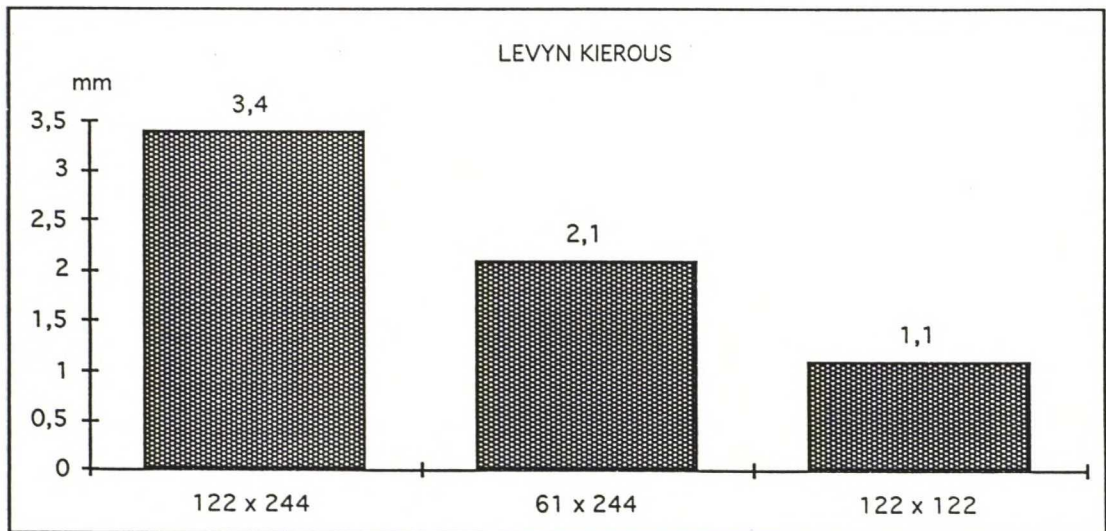
Liitteessä 6 on esitetty mittaustulosten keskiarvot, hajonnat sekä minimi- ja maksimi-arvot. Seuraavissa kuvissa on vertailtu paloittelun vaikutusta käyristymiseen (leveys- ja pituussuunnassa), kierouteen sekä asiakasmittauksen tuloksiin.



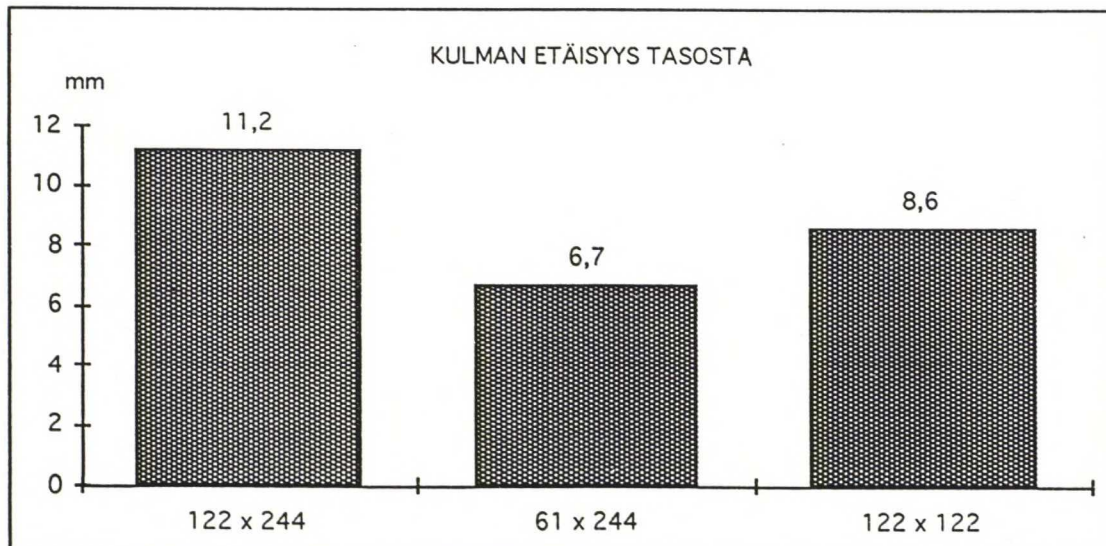
Kuva 61. Paloittelun vaikutus käyryyteen levyn leveyssuunnassa.



Kuva 62. Paloittelun vaikutus käyryyteen levyn pituussuunnassa.



Kuva 63. Paloittelun vaikutus kierouteen.



Kuva 64. Paloittelun vaikutus asiakasmittauksen tuloksiin.

Paloittelun jälkeen levykoon 61 cm x 244 cm käyryys levyn leveyssuunnassa väheni keskimäärin 45 %. Käyryys levyn pituussuunnassa väheni keskimäärin 44 %. Kierous väheni keskimäärin 38 %. Asiaksmittauksessa kulman etäisyys tasosta pieneni keskimäärin 40 %.

Paloittelun jälkeen levykoon 122 cm x 122 cm käyryys levyn leveyssuunnassa kasvoi keskimäärin 50 %. Käyryys levyn pituussuunnassa kasvoi keskimäärin 44 %. Kierous väheni keskimäärin 68 %. Asiaksmittauksessa kulman etäisyys tasosta pieneni keskimäärin 23 %.

4.1.7. Levyjen kosteus kuumapuristimen jälkeen

Levyjen kosteutta kuumapuristimen jälkeen tutkittiin ottamalla kosteusnäytteitä juuri puristetuista levyistä. Kuvissa kosteudet on ilmoitettu prosentteina.

7,7	7,6		7,0		6,7	6,7
7,8	7,4		8,9		7,6	7,3
7,6	7,6		8,6		7,8	7,5
6,8	6,9		7,0		7,0	7,1

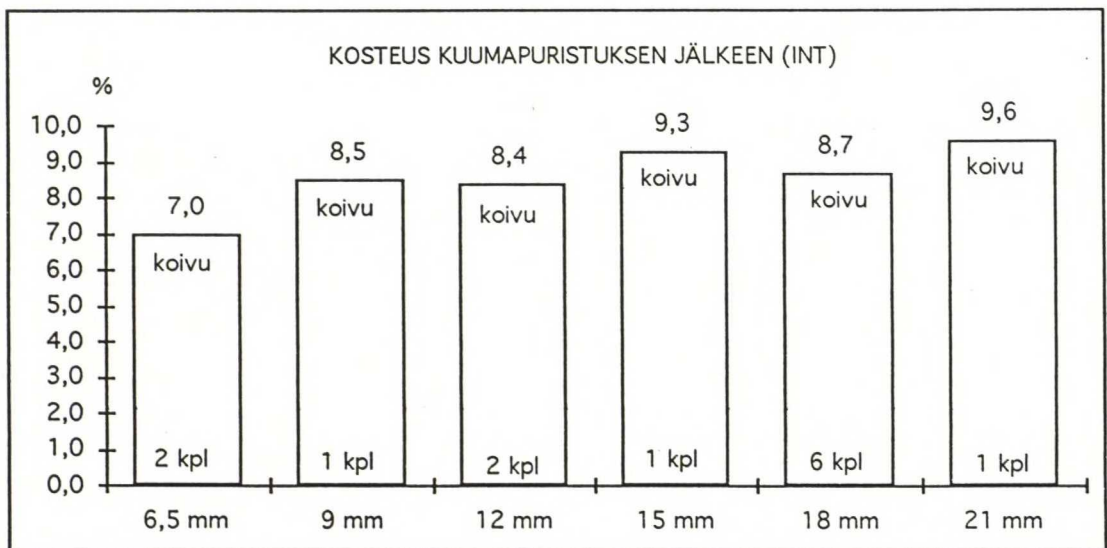
Kuva 65. 12 mm koivu INT vanerin kosteusjakauma prosentteina kuumapuristuksen jälkeen (kosteuskeskiarvo 7,4 %).

8,2	8,2		8,6		7,7	8,2
8,5	8,5		9,5		8,5	8,7
8,5	8,3		9,5		8,3	8,4
8,0	7,9		8,1		7,8	8,1

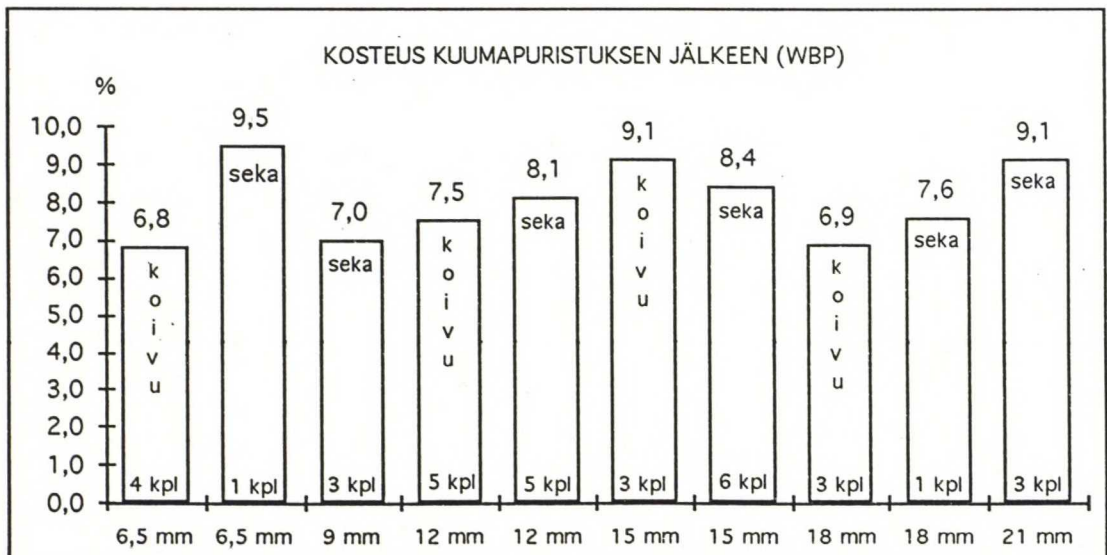
Kuva 66. 18 mm koivu INT vanerin kosteusjakauma prosentteina kuumapuristuksen jälkeen (kosteuskeskiarvo 8,4 %).

Kuvissa esiintyvät kosteusarvot sijaitsevat kyseisten kosteusnäytteiden paikalla. Tuloksista nähdään, että kosteus ei ole jakaantunut tasaisesti levyissä. Molemmissa tapauksissa kosteus on suurin levyn keskellä.

Vanerin laadunvalvontaraporttien avulla seurattiin eri levyjen paksuuksien kosteuksia kuumapuristimen jälkeen 1.9 - 30.11.1992. Levyn kosteuden keskiarvo määritettiin viidestä eri kosteusnäytteestä, jotka otettiin levyn eri puolilta. Kuvassa 67 on esitetty ureamelamiini-liimalla (INT) liimattujen vanereiden keskikosteudet. Kuvassa 68 on esitetty fenoliformaldehydi-liimalla (WBP) liimattujen vanereiden keskikosteudet. Kuvissa on ilmoitettu vanerin puulaji sekä levyjen otoskoko, mistä kosteuskeskiarvot on laskettu.



Kuva 67. Eri paksuisten ureamelamiini-liimalla liimattujen levyjen keskikosteudet kuumapuristuksen jälkeen.

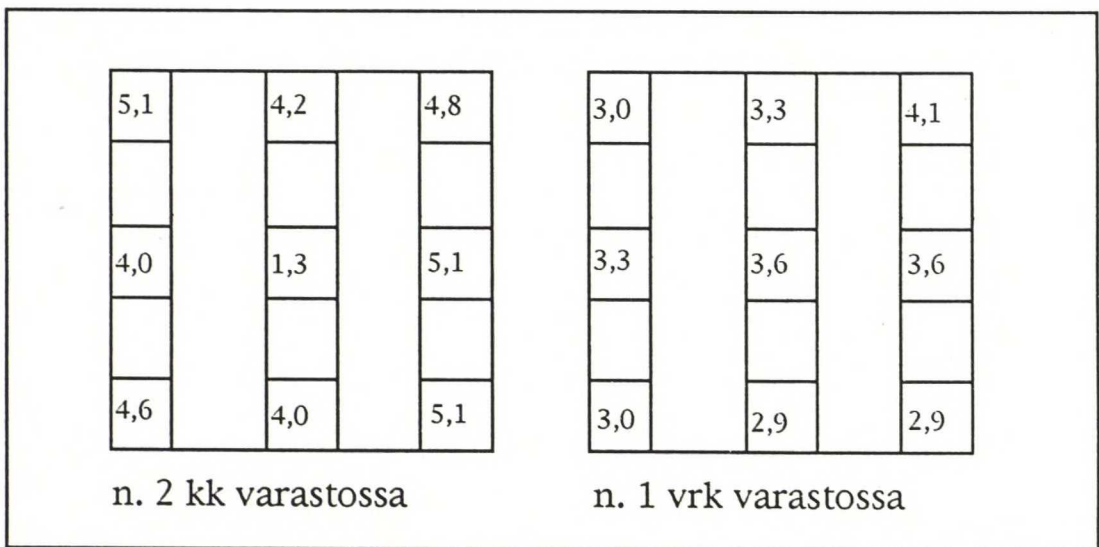


Kuva 68. Eri paksuisten fenoliformaldehydi-liimalla liimattujen levyjen keskikosteudet kuumapuristuksen jälkeen.

Koska laadunvalvontaraporttien eri paksuuksien otoskoot ovat varsin pieniä, ei tuloksista voi tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Tuloksista nähdään kuitenkin, mitä suuruusluokka levyjen kosteudet ovat kuumapuristuksen jälkeen. Eri paksuisten koivuvanereiden (INT) kosteus on keskimäärin 8,6 %. Eri paksuisten koivuvanereiden (WBP) kosteus on keskimäärin 7,6 %. Eri paksuisten sekavanereiden (WBP) kosteus on vastaavasti keskimäärin 8,3 %.

4.1.8. Viilun ja vanerin kosteus eri olosuhteissa

Tässä kappaleessa on esitelty eri yhteyksissä tehtyjen kosteusmittausten tuloksia. Viilun varastokosteuksia mitattaessa oltiin kiinnostuneita siitä, miten kosteus on jakaantunut kauan varastossa (n. 2 kk) olleessa yksittäisessä viiluarkissa. Tutkittava viiluarkki otettiin pinkan keskivaiheilta. Vertailumittaukset tehtiin tuoreesta viiluarkista (n. 1 vrk), joka otettiin myös pinkan keskivaiheilta.



Kuva 69. 1,5 mm paksujen viiluarkkien kosteudet prosentteina.

Kuvasta nähdään, että kauan varastoidussa viiluarkissa kosteus on jakaantunut hyvin epätasaisesti viilun keskellä ja reunoilla. Tuoreessa viiluarkissa ulkoiset olosuhteet eivät ole ehtineet vielä vaikuttaa viilun kosteuteen ja siksi viilun kosteus on melko tasainen.

Vanerin varastokosteutta ja kosteuden jakautumista levyssä tutkittiin ottamalla varastosta vanha varastopalletti (vko. 2/92). Tutkittava levy oli laatua 12 mm BB koivu WBP. Palletti avattiin ja levy otettiin sen keskivaiheilta. Kuvassa 70 on esitetty kauan varastossa olleen levyn kosteusjakauma.

10,9	9,5		8,8		9,6	10,8
			7,5			
9,8	8,0				7,9	9,6
			7,5			
10,7	9,4		9,1		9,2	10,5

Kuva 70. Noin vuoden varastoidun levyn kosteusjakauma prosentteina.

Kuvasta nähdään, että levyn kosteusjakauma ei ole tasainen. Levyn keskellä kosteus on selvästi alhaisempi kuin reunoilla. Tämä johtuu ympäröivien olosuhteiden (kosteus ja lämpötila) muutok-
sista. Levyn kosteusnäytteiden keskiarvo on 9,3 %.

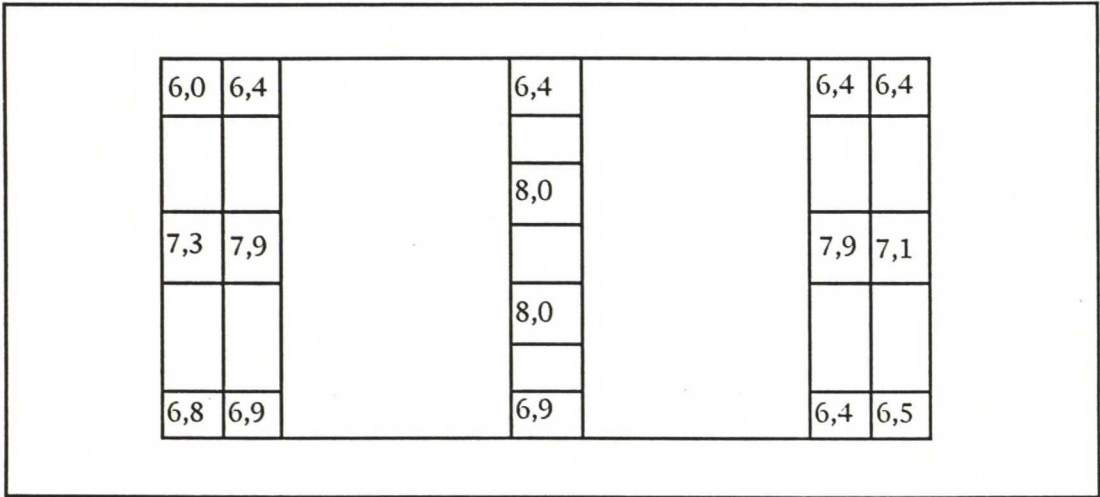
Vanerin kosteutta heti valmistuksen jälkeen käsiteltiin kohdassa 4.1.7. Käyristymistutkimuksissa käytetty tasaantumisaika koele-
vyillä oli kaksi viikkoa. Seuraavassa kuvassa on esitetty kaksi
viikkoa pystyasennossa tasaantuneen levyn kosteusjakauma.
Mitattu levy oli laadultaan 12 mm BB koivu WBP.

7,0	8,7		8,3		8,8	8,8
			8,3			
8,5	8,6				8,9	8,9
			7,9			
8,6	7,5		7,2		7,4	8,0

Kuva 71. Kaksi viikkoa tasaantuneen levyn kosteusjakauma prosentteina.

Kuvasta nähdään, että levyn kosteusjakauma on tasoittunut ta-
saannutuksen aikana. Tämä olikin tutkimusten kannalta
tärkeää. Levyn kosteusnäytteiden keskiarvo on 8,2 %.

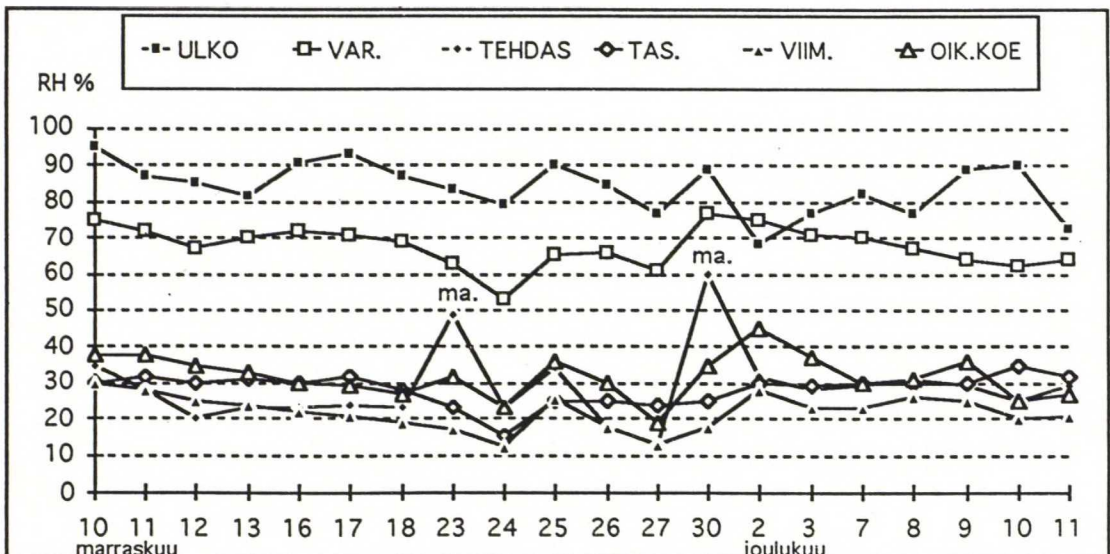
Oikaisukokeessa tutkittiin, miten tasaantumisvaiheen jälkeen mitatut koelevyt oikenivat painon alla kuuden viikon aikana (kts. 4.1.5.). Kuvasta 71 nähtiin, että tasaantumisvaiheen jälkeen levyn kosteusjakauma oli tasainen. Oikaisukokeessa koepalletti vietiin viimeistelyosastolle, jossa kosteus RH oli hieman alhaisempi kuin tasaannutushuoneessa. Koelevyjen joukossa palletin keskellä oli mukana yksi kosteusnäytelevy, josta kosteusnäytteet otettiin oikaisukokeen jälkeen. Levy oli laadultaan 12 mm BB koivu WBP.



Kuva 72. Levyn kosteusjakauma oikaisukokeen jälkeen prosentteina.

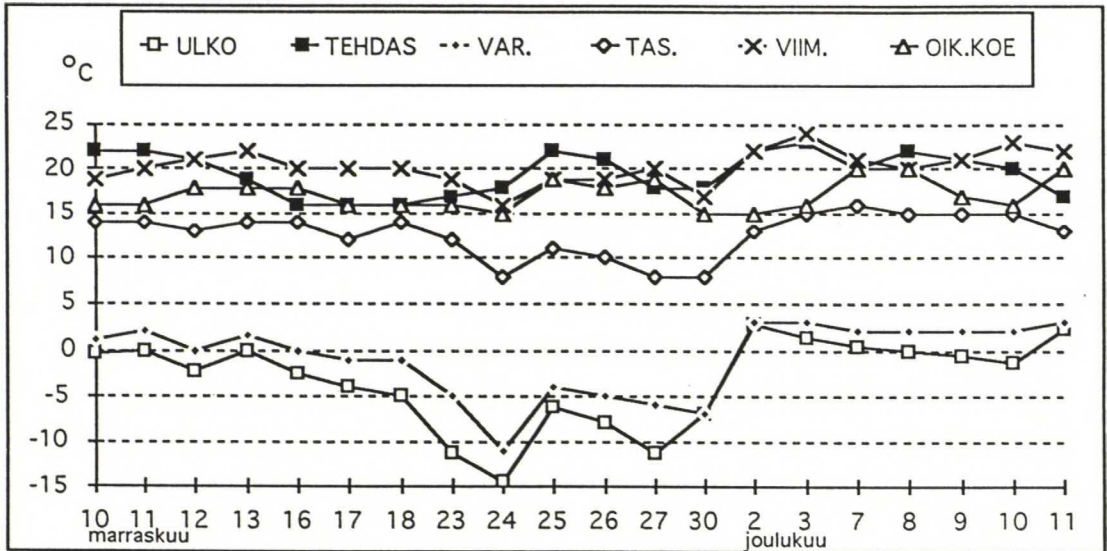
4.1.9. Kosteus- ja lämpötilaseuranta

Ulkoilman sekä tehtaan eri osastojen ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa seurattiin 10.11 - 11.12.1992. Kuvissa esiintyvät lyhenteet tarkoittavat: vanerivarasto (VAR.), tehdassali (TEHDAS), koelevyjen tasaantumishuone (TAS.), viimeistelyosasto (VIIM.) ja oikaisukoe (OIK.KOE).



Kuva 73. Ilman suhteellinen kosteus eri seurantapaikoilla.

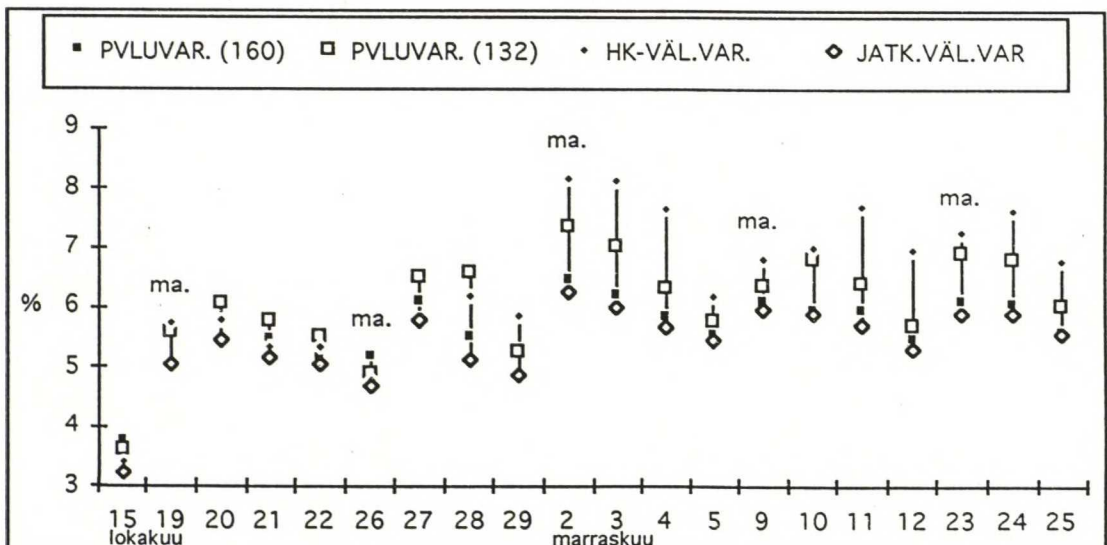
Kuvasta 73 nähdään, että varaston kosteus on noin 20 % alhaisempi kuin kosteus ulkona, ja että tehdasilman suhteellinen kosteus vaihtelee välillä 20 - 60 %. Mittauspiste tehdassalissa oli tarkemmin sanottuna pääviiluvarestossa. Kuvasta nähdään myös, että maanantaisin (ma.) ilman suhteellinen kosteus on selvästi korkeampi kuin muina päivinä. Muiden mittauskohteiden kosteudet (RH) eivät paljon poikkea toisistaan. Seuraavassa kuvassa on esitetty samojen paikkojen lämpötilat ko. aikana.



Kuva 74. Ilman lämpötila eri seuranta- paikoilla.

Kuvasta 74 nähdään, että ulko- ja varastolämpötila seuraavat toisiaan samoin kuin kosteus edellisessä kuvassa. Tehtaan eri osastojen lämpötilat pysyttelevät välillä 15 - 23 °C. Tasaannutus- huoneen lämpötila seuraa jonkin verran ulkolämpötilaa.

Eri viiluvaretojen puun tasapainokosteutta seurattiin 15.10 - 25.11.1992. Kuvassa 75 on esitetty mittauksen tulokset.



Kuva 75. Eri viiluvaretojen puun tasapainokosteudet.

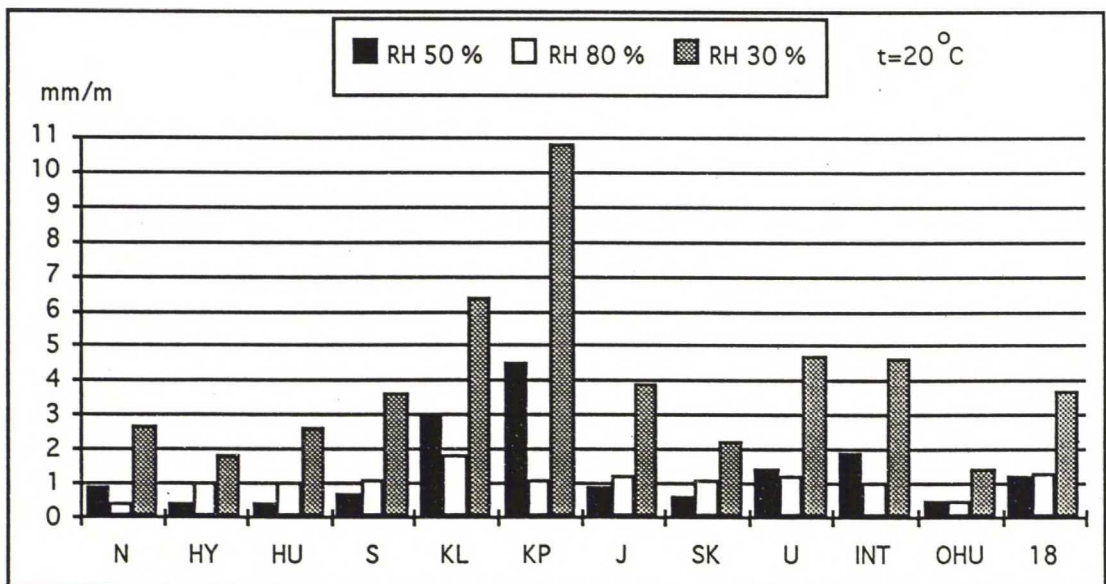
Viiluvvarastojen tasapainokosteudet määritettiin siten, että kullakin seurantaapaikalla säilytettiin viilunäytteitä, joista puun tasapainokosteus määritettiin päivittäin punnitus-kuivaus -menetelmällä. Kuvassa 75 esiintyvät varastopaikkojen lyhenteet tarkoittavat:

- PVLUVAR. (160) = pintaviiluvaluvarasto (160 cm:n viilu)
- PVLUVAR. (132) = pintaviiluvaluvarasto (132 cm:n viilu)
- HK-VÄL.VAR. = HK-viilujen välivarasto
- JATK.VÄL.VAR. = jatkettavien viilujen välivarasto

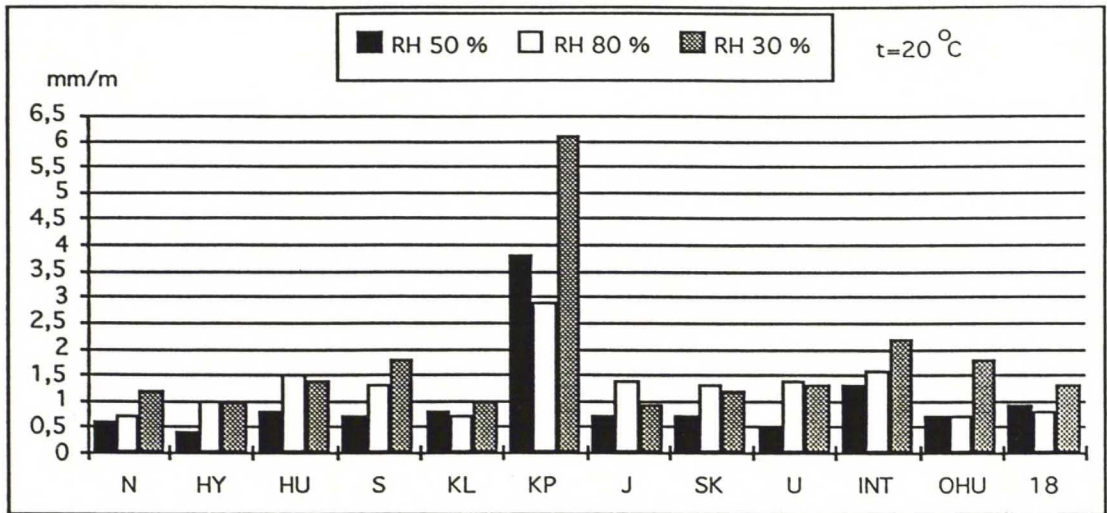
Kuvasta nähdään, että viikon alussa (ma.) puun tasapainokosteus on keskimäärin korkeampi kuin viikolla. Tämä johtuu viikonlopun aiheuttamasta seisokista. Lokakuun 15. päivän alhaiset mitaustulokset johtuivat siitä, että mittauspäivä oli seisokkiviikon torstai. Eri viiluvvarastoissa kosteusero voi olla jopa 2 %. Tämä tarkoittaa sitä, että ladonnassa liimataan eri kosteustilassa olevia viiluja, mikä edesauttaa levyjen käyristymistä.

4.2. Laboratoriokokeet

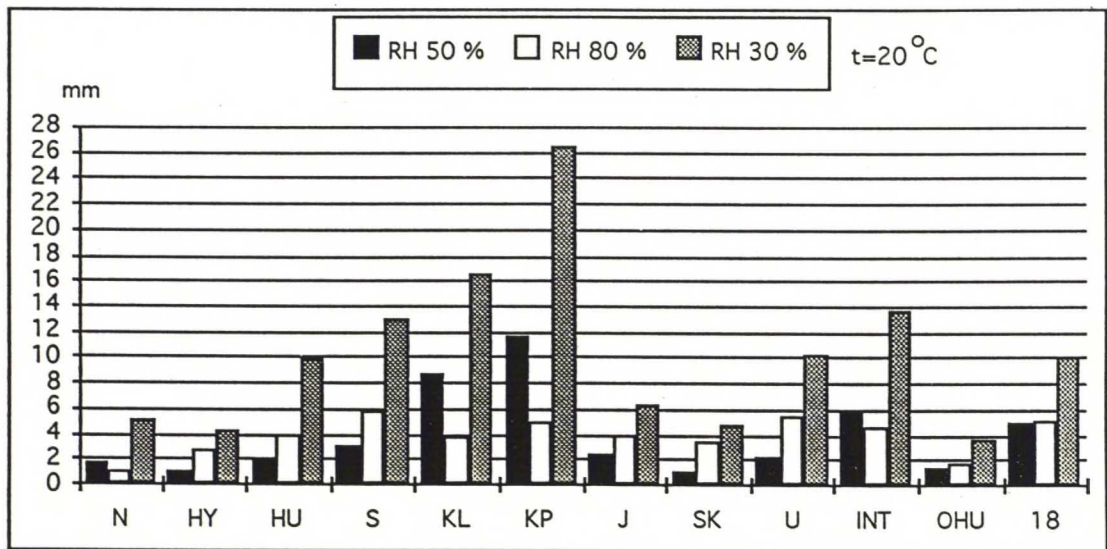
Laboratoriokokeet tehtiin kosteushuoneessa, jonka kosteusolosuhteita säädettiin halutulla tavalla. Koeolosuhteet olivat: RH 50%, RH 80 % ja RH 30 %. Lämpötila oli vakio 20 °C. Liitteissä 7,8 ja 9 on esitetty koeolosuhteiden mitaustulokset (keskiarvot, hajonnat, sekä minimi- ja maksimiarvot). Seuraavissa kuvissa on esitetty kaikkien kosteusolosuhteiden tulokset samoissa kuvissa.



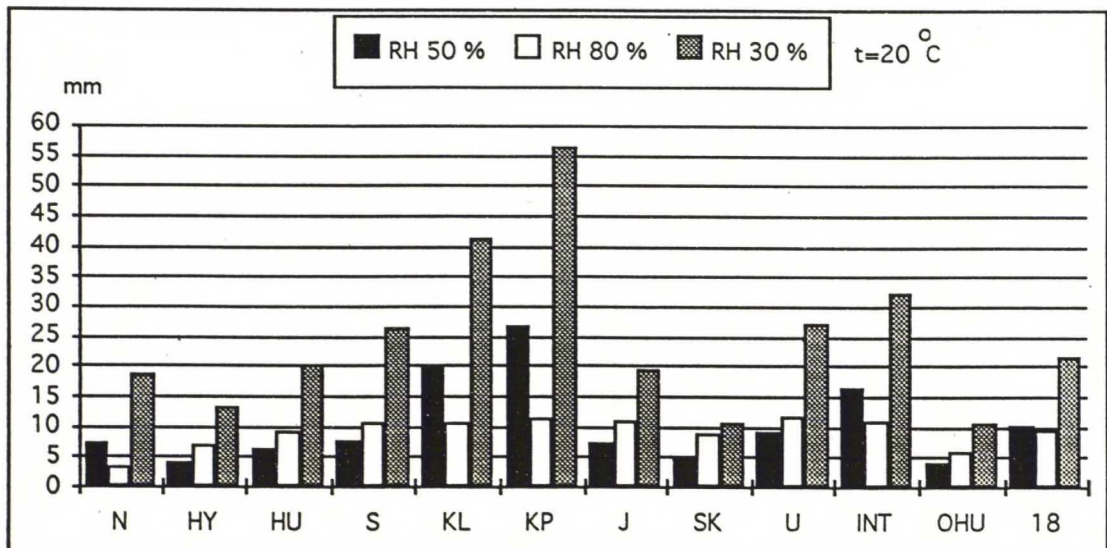
Kuva 76. Käyryys levyn leveyssuunnassa RH 50 %, RH 80 % ja RH 30 %.



Kuva 77. Käyryys levyn pituussuunnassa RH 50 %, RH 80 % ja RH 30 %.



Kuva 78. Levyn kierous RH 50 %, RH 80 % ja RH 30 %.



Kuva 79. Asiakasmittauksen tulokset RH 50 %, RH 80 % ja RH 30 %.

Kuten tuloksista voidaan nähdä, eri kosteusolosuhteet vaikuttavat selvästi erilailla levyn tasomaisuuteen. Jokaisen tasaannutusvaiheen tuloksista laskettiin keskiarvot, jotka on esitetty seuraavassa taulukossa.

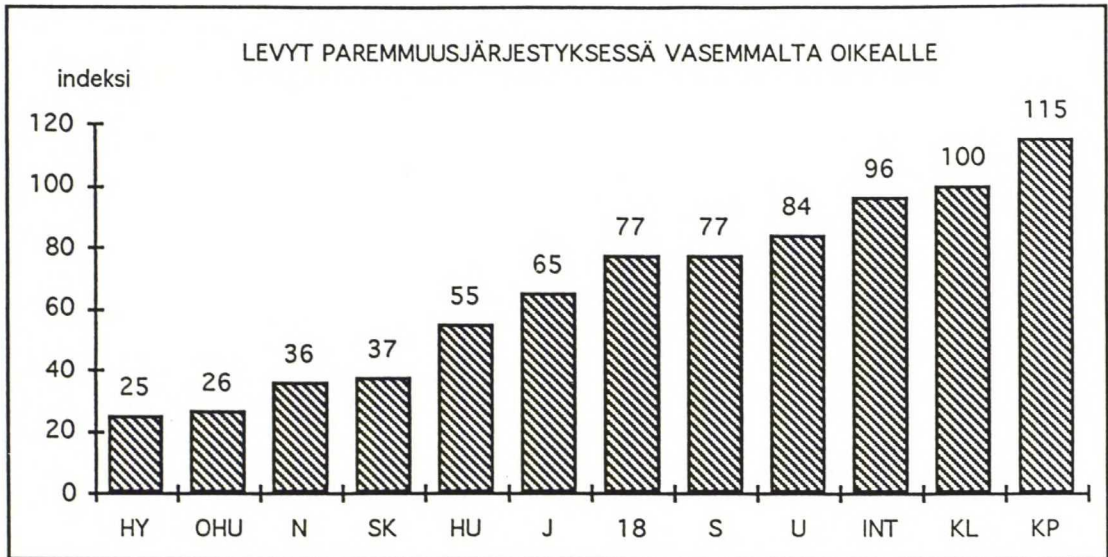
Taulukko 2. Kaikkien koelevyjen keskimääräiset tulokset.

	RH 50 %	RH 80 %	RH 30 %
KÄYRYYS LEV. (mm/m)	1,4	1,1	4,0
KÄYRYYS PIT. (mm/m)	1,0	1,3	1,8
KIEROUS (mm)	3,8	3,9	10,3
ASIAKAS MIT. (mm)	10,4	9,2	24,8

Taulukosta nähdään, että RH 50 %- ja RH 80 %-tuloksilla ei ole juurikaan eroa. Tämä johtuu siitä, että kosteuden muutos oli kohdalaisen vähäinen. Suurimmat erot tuloksille saatiin ilman suhteellisen kosteuden muuttuessa RH 80 % - RH 30 %.

Liitteessä 10 on esitetty kunkin tasaantumisvaiheen aiheuttama kosteusjakauma kosteusnäytelevyissä. Kahden viikon tasaannutuksen jälkeen RH 50 % kosteusnäytelevyn keskimääräinen puun tasapainokosteus oli 8,6 % (teoriassa n. 9,7 %). Vastaavasti kahden viikon tasaannutuksen jälkeen RH 80 % kosteusnäytelevyn keskimääräinen puun tasapainokosteus oli 12,9 % (teoriassa n. 16,8 %). Viimeisen vaiheen RH 30 % tasaannutusaika oli poikkeuksellisesti kolme viikkoa, johtuen suuresta kosteuserosta ja kosteushuoneen kapasiteetista. Kosteusnäytelevyn keskimääräinen puun tasapainokosteus oli 7,4 % (teoriassa n. 6,5 %). Kuten tasapainokosteuksista nähdään, teoriassa (kts. kuva 33) ilmoitetuista tasapainokosteuksista jäätii hiukan. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä syystä, että tasaantumisaikat olivat liian lyhyitä.

Edellä esitettyjen tulosten perusteella (kuvat 76-79) levyt on laitettu paremmuusjärjestykseen. Paremmuusjärjestys on laadittu siten, että jokaisen kuvan koelevyt on asetettu paremmuusjärjestykseen vasemmalta oikealle (sijaluku 1 antaa yhden pisteen, sijaluku 2 kaksi pistettä jne). Tuloksia, joiden perusteella sijalukupisteitä jaetaan, on yhteensä kaksitoista (3 x 4). Kaikkien tulosten sijalukupisteet lasketaan yhteen, jolloin saadaan sijalukuindeksi. Kunkin levytyypin sijalukuindeksi käy ilmi kuvasta 80. Pieni sijalukuindeksi ilmaisee, että levytyyppi on menestynyt keskimäärin eri mittauksissa hyvin. Paras mahdollinen indeksiluku on kaksitoista (jokaisessa mittauksessa paras).

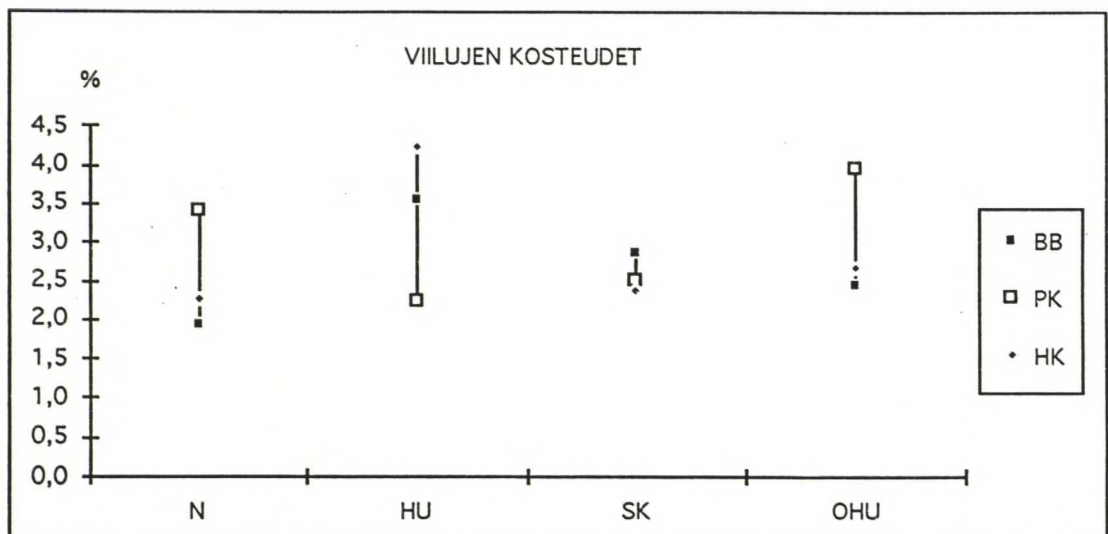


Kuva 80. Levyt paremmuusjärjestyksessä.

4.3. Täydentävät kokeet

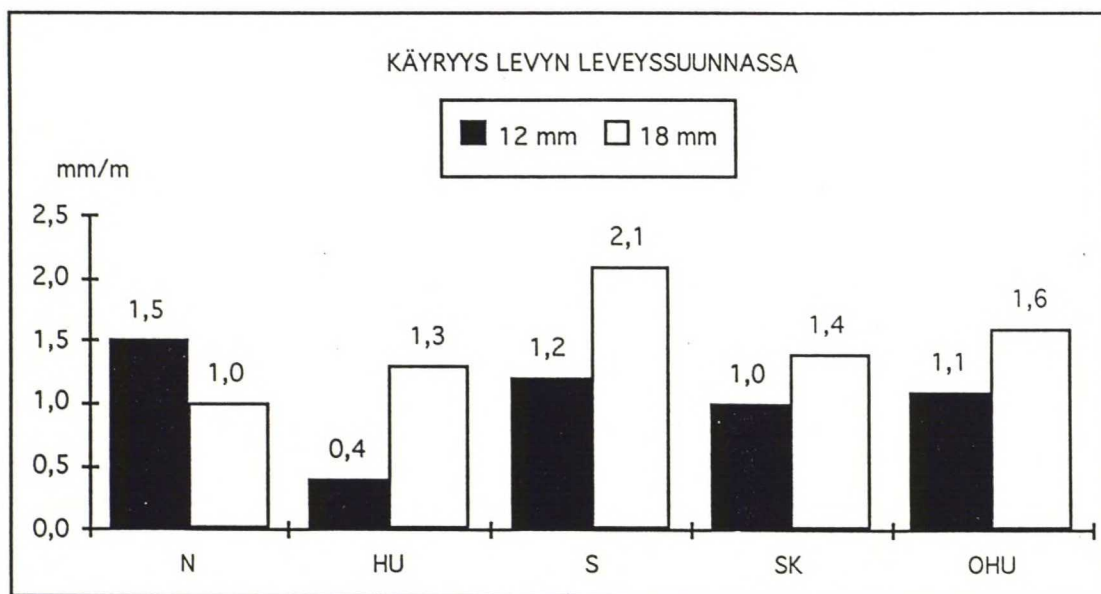
Täydentävät kokeet tehtiin lisänä tehdaskokeisiin. Koelevyn paksuudeksi valittiin 18 mm. Valitut koelevyt olivat: N, HU, S, SK ja OHU. Täydentävien kokeiden tarkoituksena oli tutkia, vaikuttaako levyn paksuus tehdaskokeiden tuloksiin kyseisillä muuttujilla.

Koelevyjä valmistettiin yhteensä 50 kappaletta. Ne pyrittiin valmistamaan mahdollisimman tuoreista viiluista (n. 1 vrk) kosteuserojen minimoimiseksi. Ainoastaan ohutviilurakenteeseen OHU jouduttiin käyttämään vahempia (n. 2 kk) viiluja tuotannollisista syistä. Koelevyihin käytetyistä viilukuormista BB, PK ja HK otettiin kosteusnäytteitä. Liitteestä 11 nähdään viilujen kosteusarvot. Kuvassa 81 on esitetty viilujen kosteudet graafisesti. Koelevyjen N ja S viilut otettiin samasta viilukuormasta.

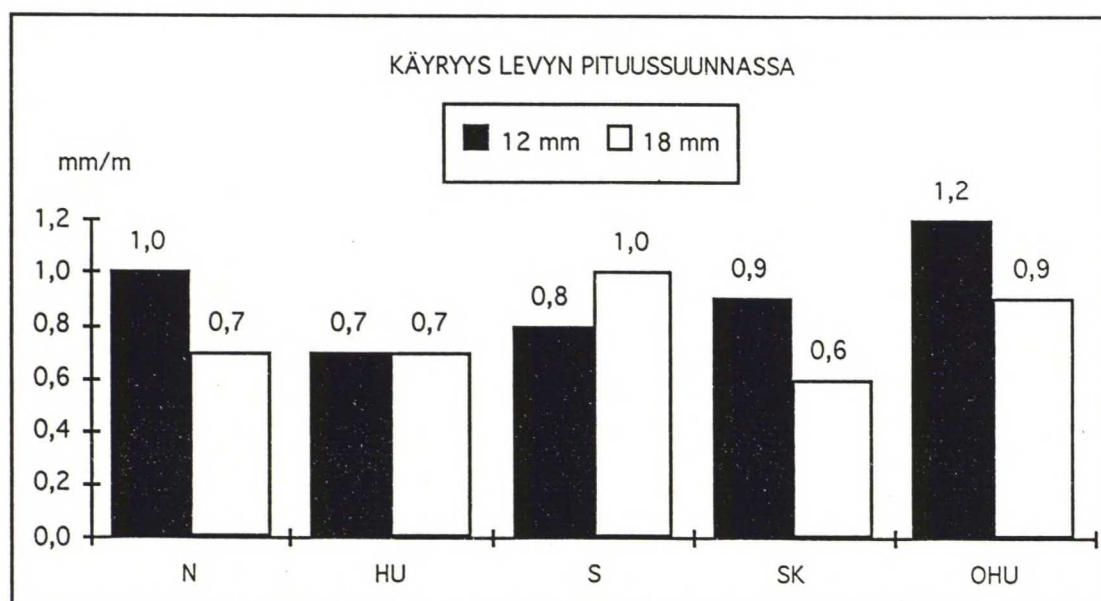


Kuva 81. Viilujen kosteudet.

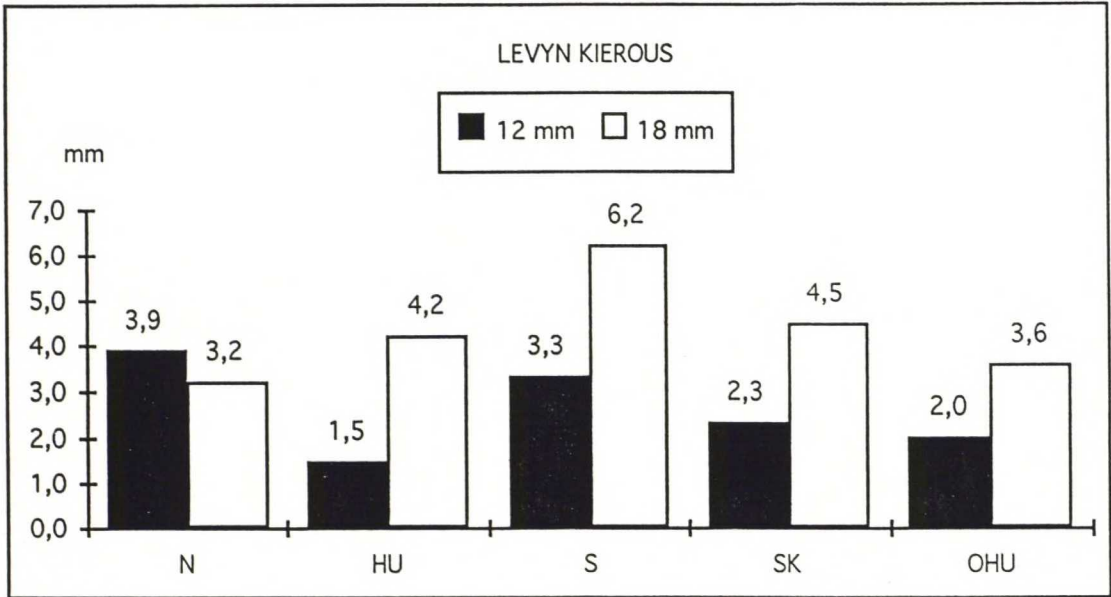
Täydennyskokeissa levyjä ei mitattu heti valmistuksen jälkeen, vaan niiden annettiin tasaantua kaksi viikkoa tasaantumisteli-neissä kuten tehdaskokeissa (RH n. 30 %, n. 10 °C). Liitteessä 12 on esitetty mittaustulosten keskiarvot, hajonnat sekä minimi- ja maksimi-arvot. Seuraavissa kuvissa on esitetty täydennyskokei-den tulokset, joissa on vertailun vuoksi mukana tehdaskokeiden tulokset (N, HU, S, SK ja OHU). Huomattakoon, että tehdaskokeissa ohutviilurakenne OHU 12 mm oli INT-liimalla liimattu ja täyden-nyskokeissa WBP-liimalla liimattu.



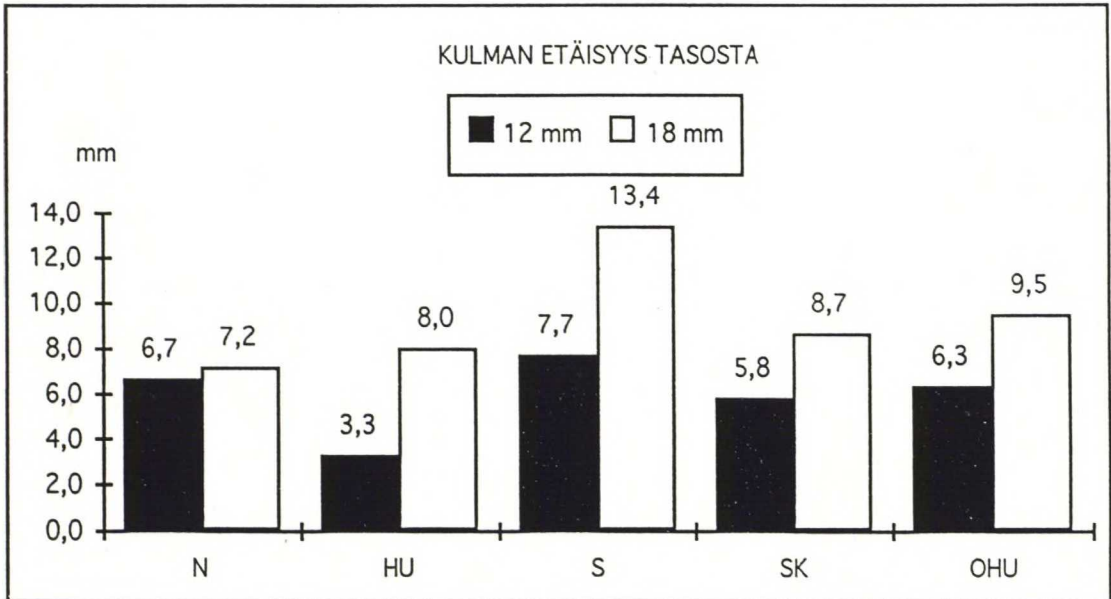
Kuva 82. Käyryys levyn leveyssuunnassa tasaannutuksen jäl-keen.



Kuva 83. Käyryys levyn pituussuunnassa tasaannutuksen jäl-keen.



Kuva 84. Levyn kierous tasaannutuksen jälkeen.



Kuva 85. Asiakasmittauksen tulokset tasaannutuksen jälkeen.

Molempien levynpaksuuksien tuloksista laskettiin keskiarvot, jotka on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 3. Kaikkien koelevyjen keskimääräiset tulokset.

	18 mm	12 mm
KÄYRYYS LEV. (mm/m)	1,5	1,0
KÄYRYYS PIT. (mm/m)	0,8	0,9
KIEROUS (mm)	4,3	2,6
ASIAKAS MIT. (mm)	9,4	6,0

5. TULOSTEN TARKASTELU

5.1. Tehdaskokeet

5.1.1. Viilujen kosteudet

Tehdaskokeiden koelevyt pyrittiin valmistamaan mahdollisimman tuoreista levyistä kosteuserojen minimoimiseksi. Liitteessä 1 on esitetty koelevyjen viilujen kosteusarvot. Kosteustuloksista nähdään, että viilujen kosteudet saattavat vaihdella huomattavan paljon, vaikka näytteet on otettu samasta viilukuormasta. Kosteusnäytteiden (3 kpl) tuloksista on laskettu kunkin viilulaudun keskiarvokosteudet, jotka esitetään kuvassa 42 levykohtaisesti.

Tarkasteltaessa tehdaskokeissa sijalukuindeksin (kuva 55) mukaan hyvin menestyneitä levytyyppejä (HU, OHU, SK, N ja HY) ja niiden viilujen kosteuksia nähdään, että kaikilla ko. levyillä viilujen kosteuserot ovat suhteellisen pienet. Näiden koelevyjen kaikkien viilujen kosteuskeskisarvot ovat myös melko korkeat (n. 5 %). Tutkimuksen /14./ (kostean viilun liimaus) perusteella voidaankin todeta, että yksi syy ko. levyjen pieniin muodonmuutoksiin saattaa olla viilujen keskimääräistä hiukan suurempi kosteus. Esimerkiksi koelevyn HU viilunkosteudet olivat tasaisen korkeat: 5,6 - 7,3 %.

Kuvasta 42 nähdään myös, että koelevyn U viilun kosteudet ovat keskimääräistä alhaisemmat: 1,5 - 2,8 %. Tämä johtuu siitä, että viilut sorvattiin eri viikolla kuin muut viilut, ja todennäköisesti ne on kuivattu sattumalta keskimääräistä alhaisempaan kosteuteen. Koelevy U sijoittuu kuvan 55 mukaisesti peruslevyjen (12 mm) häntäpäähän, johon syynä voi olla viilujen alhainen kosteus.

Suurimmat viilujen keskinäiset kosteuserot olivat luonnollisesti koelevyillä KL ja KP, joihin tietoisesti pyrittiin aikaansaamaan kosteuseroja. Kuvasta 42 nähdään, että viilujen kosteuserot olivat suuret (esim. KP: 3,9 - 8,4 %). Myös kaikista tuloksista ja kuvasta 55 käy ilmi, että viilujen kosteuseroilla on ollut merkittävä vaikutus levyjen käyristymiseen.

5.1.2. Levyjen käyryys heti valmistuksen jälkeen

Koelevyt mitattiin mahdollisimman pian (n. 1 vrk) niiden valmistuksen jälkeen. Poikkeuksena olivat koelevyt WF, WW ja DB, jotka tilattiin muilta tehtailta. Liitteessä 2 esitetään levyjen käyristymistulokset.

Kuvassa 43 esitetään käyryys levyn leveyssuunnassa. Tulokset vaihtelevat välillä 0,3 - 2,5 mm/m. Kaikkien levyjen käyristymisen leveyssuunnassa on keskimäärin 1,1 mm/m. Levyistä, joiden käyryys on alle 1,0 mm/m, ei voi havaita silmämääräisesti suuria eroja. Voidaankin todeta, että heti valmistuksen jälkeen käyryys levyn leveyssuunnassa on hyvin vähäistä.

Kuvassa 44 esitetään käyryys levyn pituussuunnassa. Tulokset vaihtelevat välillä 0,6 - 3,5 mm/m. Kaikkien levyjen käyristymisen pituussuunnassa on keskimäärin 1,1 mm/m. Se on sama kuin leveyssuunnassa. Pituussuunnassa koelevyjen käyristyminen on hyvin tasaista (12 koelevyä välillä 0,6 - 1,0 mm/m). Tutkimuksessa /11./ on todettu, että yleensä leveyssuuntainen käyryys on pituussuuntaista suurempi. Tämä ei pidä paikkaansa tuloksissa heti valmistuksen jälkeen. Huomattavaa tuloksissa on koelevyjen KL ja KP arvot (0,6 mm/m ja 3,5 mm/m). Viilujen kosteuseroista johtuva kosteuseläminen näkyy ko. levyillä heti kuumapuristuksen jälkeen, ja tulokset ovat hyvin johdonmukaiset.

Levyn kierous nähdään kuvasta 45. Kierous vaihtelee välillä 0,9 - 5,1 mm. Kaikkien levyjen kierous on keskimäärin 2,7 mm. Alle 2 mm:n kieroutta on vaikea havaita silmämääräisesti. Huomattavaa on ohutviiluista valmistetun koelevyn OHU vähäinen kieroutuminen (0,9 mm) sekä levyjen KL ja KP kosteuseroista aiheutuva näkyvä kieroutuminen (4,9 mm ja 5,1 mm).

Asiakasmittauksen tulokset nähdään kuvasta 46. Kulman etäisyys tasosta vaihtelee välillä 3,3 - 15,7 mm. Keskimäärin kulman etäisyys tasosta on 8,3 mm. Tuloksista käy ilmi, että pinnoitetut levyt sekä levyt KL ja KP menestyivät selvästi huonoiten.

5.1.3. Levyjen käyryys tasaannutuksen jälkeen

Merkittävimmät tulokset vanerin käyristymisestä odotettiin saatavan tasaannutuksen jälkeen. Tasaannutuksen aikana levyjen kosteus ehti tasaantua ja vapaasti pystyasennossa levyt pystyivät elämään (käyristymään ja kieroutumaan) ominaisuuksiensa mukaisesti. Liitteessä 3 on esitetty mittaustulokset.

Kuvassa 47 esitetään käyryys levyn leveyssuunnassa. Tulokset vaihtelevat välillä 0,4 - 3,3 mm/m. Kaikkien levyjen käyristymisen leveyssuunnassa on keskimäärin 1,8 mm/m. Huomattavaa tuloksissa on levyn HU vähäinen käyristyminen (0,4 mm/m) sekä levyjen KL ja KP suuri käyryys (2,9 mm/m ja 3,3 mm/m). Normaalityönnön levyn N käyryys on 1,5 mm/m. Kemppaisen tutkimukseen /9./ verrattuna levyn leveyssuunnassa tehtyjen mittausten tulokset ovat selvästi pienemmät. Tämä johtuu siitä, että

Kemppainen mittasi levyt vapaasti pystyasennossa. On kuitenkin merkille pantavaa, että molemmissa tutkimuksissa normaalituotannon levyille saatiin suunnilleen sama arvo (1,5 mm/m ja Kemppainen 1,3 mm/m).

Kuvassa 48 esitetään käyryys levyn pituussuunnassa. Tulokset vaihtelevat välillä 0,4 - 3,0 mm/m. Kaikkien levyjen käyristymisen pituussuunnassa on keskimäärin 1,2 mm/m. Pituussuunnassa koelevyjen käyristyminen on jälleen hyvin tasaista: 14 koelevyä välillä 0,4 - 1,5 mm/m. Erot levyillä ovat niin pieniä, että lukuunottamatta levyjä WW ja KP niitä on silmäämäärisesti vaikea havaita. Tuloksista nähdään, että tasaannutuksen jälkeen käyryys levyn leveyssuunnassa (ka. 1,8 mm/m) on suurempi kuin pituussuunnassa (ka. 1,2 mm/m). Tulos vastaa aikaisempia tutkimuksia /11./. Kemppaisen tutkimukseen /9./ verrattuna levyn pituussuunnassa tehtyjen mittausten tulokset ovat huomattavasti pienemmät. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että Kemppainen mittasi levyt vapaasti pystyasennossa. Molemmissa tutkimuksissa normaalituotannon levyille saatiin kuitenkin sama arvo 1,0 mm/m.

Levyn kierous nähdään kuvasta 49. Kierous vaihtelee välillä 1,5 - 9,4 mm. Kaikkien levyjen kierous on keskimäärin 4,2 mm. Näissä tuloksissa on merkittävää koelevyjen HU, OHU ja SK keskimääräistä vähäisempi kieroutuminen (1,5 mm, 2,0 mm ja 2,3 mm) sekä levyjen INT, KL ja KP näkyvä kieroutuminen (7,3 mm, 7,4 mm ja 9,4 mm). Kemppaisen tutkimukseen /9./ ei kieroutumisarvoja voitu verrata, koska laskentaperusteet erosivat toisistaan.

Asiakasmittauksen tulokset nähdään kuvasta 50. Kulman etäisyys tasosta vaihtelee välillä 3,3 - 21,1 mm. Keskimäärin kulman etäisyys tasosta on 10,5 mm. Asiakasmittauksen tulokset ovat hyvin samankaltaisia ja johdonmukaisia edellisten tulosten kanssa. Samat levyt HU, SK ja OHU sijoittuvat tälläkin mittaustavalla kärkeen. Tuloksissa kiinnittyy huomio siihen, että levyt INT, KL ja KP menestyivät taas selvästi huonoiten (vrt. kieroutuminen).

Kokeissa kiinnitettiin huomiota myös siihen, onko ladonnalla tai kuumapuristuksella vaikutusta siihen, miten päin levy käyristyy. Tulokseksi saatiin, ettei vastaavaa yhteyttä ole havaittavissa. Joissakin tapauksissa tutkitut levyt vaihtoivat käyristymisen puolta tasaannutusvaiheen aikana. Tämä käyttäytyminen oli kuitenkin niin satunnaista ja se ilmeni melko suorissa levyissä, joten mitään johtopäätöksiä asiasta ei voida tehdä. Asiakasmittauksissa heti valmistuksen jälkeen valittu kulma pysyi 68 %:ssa levyistä samana tasaannutuksen jälkeen. Tästä voisi todeta, että levyn sisäiset jännitykset vaikuttavat heti valmistuksen jälkeen ja pyrkivät säilymään levyssä.

5.1.4. Valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeisten tulosten vertailu

Kuvissa 51-54 on esitetty tulokset heti valmistuksen ja tasaannutuksen jälkeen. Kuvista nähdään erot mittausten välillä hyvin havainnollisesti. Tasaannutuksen jälkeen käyryys levyn leveysuunnassa kasvoi keskimäärin 33 %. Käyryys levyn pituussuunnassa väheni keskimäärin 6 %. Kierous kasvoi keskimäärin 32 %. Asiakasmittauksessa kulman etäisyys tasosta kasvoi keskimäärin 18 %. Yleisesti voidaan todeta, että levyjen käyristyminen ja kieroutuminen kasvoi noin 30 % (paitsi pituussuunnassa) tasaannutuksen aikana. Tutkimuksessa /11./ todetaan, että vanerin käyryydellä ja kieroudella on minimikohta kosteuden ollessa 9-11 %:n välillä, mikä vastaa vanerin kosteutta kuumapuristimesta otettaessa. Myös tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että levyt ovat tasomaisimmillaan eli suorimmillaan heti kuumapuristuksen jälkeen.

5.1.5. Oikaisukoe

Oikaisukokeessa tutkittiin, pystytäänkö käyristyneitä levyjä oikaisemaan pitämällä niitä painon alla. Kokeessa mukana olleet koelevyt olivat tasaantuneet kaksi viikkoa ja niiden käyryys mitattiin ennen painon alle laittamista. Levyt olivat painon alla kuusi viikkoa, jonka jälkeen ne mitattiin uudestaan. Oikaisukokeen tulokset nähdään kuvista 56 - 59. Oikaisun jälkeen käyryys levyn leveyssuunnassa väheni keskimäärin 27 %. Käyryys levyn pituussuunnassa väheni keskimäärin 22 %. Oikaisun vaikutus levyn kierouteen oli, että kierous väheni keskimäärin 33 %. Asiakasmittauksessa kulman etäisyys tasosta pieneni keskimäärin 26 %. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että käyristyneitä levyjä voidaan oikaista tietyssä määrin pitämällä niitä sopiva aika painon alla. Mikäli levyjä oikaistaan, oikaisupaikan olosuhteiden tulee olla mahdollisimman lähellä levyn loppukäyttökohteen kosteutta ja lämpötilaa.

5.1.6. Paloittelukoe

Paloittelukokeessa mitattiin kymmenen tasaannutettua täysimitaista (122 cm x 244 cm) levyä. Mittauksen jälkeen levyt paloitteltiin kokoihin 61 cm X 244 cm ja 122 cm x 122 cm. Kuvissa 61 - 64 on esitetty paloittelukokeen tulokset graafisesti.

Paloittelun jälkeen levykoon 61 cm x 244 cm käyryys levyn leveyssuunnassa väheni keskimäärin 45 %. Käyryys levyn pituussuunnassa väheni keskimäärin 44 %. Kierous väheni keskimäärin 38 %. Asiakasmittauksessa kulman etäisyys tasosta pieneni keskimäärin 40 %.

Paloittelun jälkeen levykoon 122 cm x 122 cm käyryys levyn leveyssuunnassa kasvoi keskimäärin 50 %. Käyryys levyn pituussuunnassa kasvoi keskimäärin 44 %. Kierous väheni keskimäärin 68 % (laskentateknisesti ei vertailukelpoinen). Asiakasmittauksessa kulman etäisyys tasosta pieneni keskimäärin 23 %.

Tulosten perusteella voidaan sanoa, että levyn oman painon vaikutus eri mittaussuunnissa on merkittävä. Esimerkiksi levykoolla 61 cm x 244 cm kaikki mittaustulokset olivat pienemmät kuin täysimittaisella levyllä. Pienin kierous saatiin levykoolle 122 cm x 122 cm. Yleensä ottaen voidaan todeta, että levyn paloittelun vaikutus käyristymiseen voi olla joskus yllättäväkin, sillä sahattaessa levyn sisäiset voimat joko laukeavat tai vapautuvat.

5.1.7. Levyjen kosteus kuumapuristimen jälkeen

Kuvissa 65 ja 66 on esitetty kahden levyn kosteusjakauma kuumapuristuksen jälkeen. Kuvissa on 12 mm ja 18 mm vanerien kosteusjakaumat. Kuvista nähdään, että molemmissa levyissä levyn kostein kohta on sen keskellä. Kosteus levyn keskellä on noin 1,5 % suurempi kuin reunoilla. Reunoilla kosteus on jakautunut melko tasaisesti. Levyn keskiosan suurempi kosteus johtuu todennäköisesti vain siitä, että kuumapuristuksen yhteydessä vesi höyrystyy ja poistuu levyn reunoilta ja keskiosa jää tämän vuoksi hieman kosteammaksi. Lisäksi on huomattavaa, että paksuuden levyn keskikosteus on 1,0 % kosteampi kuin ohuemman levyn. Tämä johtuu liimasaumojen suhteellisesta määrästä.

Kuvissa 67 ja 68 on esitetty laadunvalvonnassa kerättyjä tuloksia levyjen keskikosteuksista heti kuumapuristuksen jälkeen. Eri paksuisten levyjen keskikosteudet vaihtelevat välillä 6,8 - 9,6 %. Kuvan 67 perusteella voidaan havaita, että levyn kosteus kuumapuristuksen jälkeen on suoraan verrannollinen levyn paksuuteen. Tämä onkin loogista, sillä ohuempassa levyssä kosteus ehtii paeta levystä nopeammin kuumapuristuksen aikana ja siinä on vähemmän liimasaumojia. Vertailtaessa liiman vaikutusta vanerin kosteuteen kuumapuristuksen jälkeen voidaan havaita, että INT-liimattujen koivuvanereiden kosteus on keskimäärin 8,6 % ja WBP-liimattujen koivuvanereiden kosteus on keskimäärin 7,6 %. Tämän perusteella INT-liimalla liimattujen levyjen kosteus on hiukan suurempi. Tämä voi johtua INT-liiman hieman suuremmasta levitysmäärästä. Pienen otosmäärän takia ei kuvan 68 perusteella voida sanoa, onko puulajilla (koivu/seka) vaikutusta vanerin kosteuteen heti kuumapuristuksen jälkeen. Tuloksista voidaan päätellä, että levyn kosteuteen kuumapuristuksen jälkeen vaikuttavat pääasiassa viilujen alkukosteus, levyn paksuus ja käytettävä liima ja sen levitysmäärä.

5.1.8. Viilun ja vanerin kosteus eri olosuhteissa

Viiluarkin kosteusjakaumaa tutkittiin noin kaksi kuukautta sekä noin vuorokauden varastossa olleista viilupinkoista. Kuvassa 69 on esitetty molempien viiluarkkien kosteusjakaumat. Kuvasta käy ilmi, että tuoreessa viiluarkissa kosteusjakauma on melko tasainen, koska ympäröivät olosuhteet eivät ole ehtineet vielä vaikuttaa sen kosteusjakaumaan. Noin kaksi kuukautta varastossa olleen viiluarkin kosteusjakauma on hyvin epätasainen. Arkin keskeltä mitattu kosteus (1,3 %) on selvästi alhaisempi kuin arkin reunalta mitatut kosteudet (n. 4-5 %). Tämä johtuu siitä, että viilupinkan reunat ovat tasaantuneet ympäröivän ilman kosteuteen, mutta kosteus viiluarkin keskellä on pysynyt kuivauksen jälkeen ennallaan. Kemppainen on tutkimuksessaan /9./ todennut, että riippuen viilukuormien tiiviydestä, koivuviilut ovat tasapainokosteudessaan neljässä ja kuusiviilut kahdessa kuukaudessa (kts. kuva 14). Kemppainen ei kuitenkaan tutkinut viiluarkkien kosteusjakaumaa.

Kuvassa 70 nähdään kauan varastoidun vanerilevyn kosteusjakauma. Levyn kosteusjakauma on mitattu marraskuussa -92. Varastolevyjen mittaustulokset vaihtelevat todennäköisesti eri vuodenaikojen mukaan (kosteusolosuhteet muuttuvat). Mitatun levyn kosteusjakauma pallelin keskellä ei ole tasainen. Levyn keskellä kosteus on selvästi alhaisempi (7,5 %) kuin reunoilla (n. 10 %). Tämä johtuu ympäröivien olosuhteiden kosteuden- ja lämpötilanmuutoksista. Levyn kosteusnäytteiden keskiarvo on 9,3 %. Tapaus muistuttaa edellä mainitun kauan varastoidun viiluarkin kosteusjakaumaa.

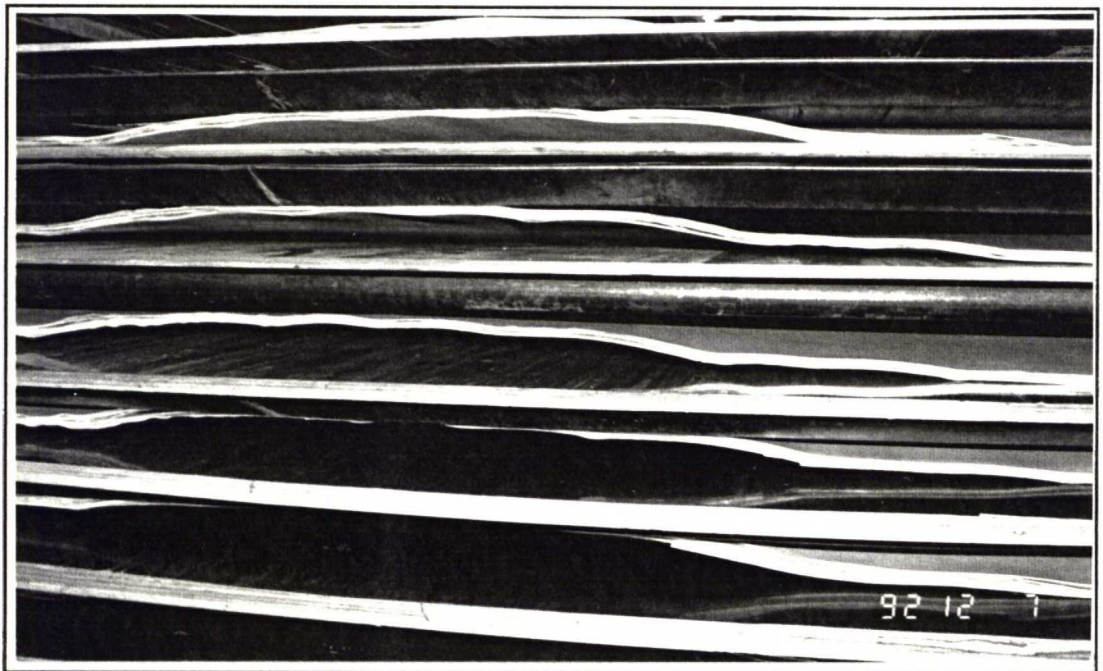
Kuvassa 71 on esitetty kaksi viikkoa pystyssä vapaasti tasaantuneen levyn kosteusjakauma. Kuvan perusteella kaksi viikkoa on ollut riittävän pitkä tasaannutusaika 12 mm vanerille. Kosteus on jakautunut hyvin tasaisesti keskikosteuden ollessa 8,2 %.

Kuvassa 72 on esitetty levyn kosteusjakauma oikaisukokeen jälkeen. Tämän vaiheen levyn kosteusjakauma on haluttu tutkia sen vuoksi, että ennen oikaisua koelevyt oli tasaannutettu ja ne siirrettiin tasaantumishuoneesta tehdashallin viimeistelyosastolle, jossa RH oli n. 20 % ja ilman kosteus hieman alhaisempi kuin tasaantumishuoneessa: RH n. 30 %. Haluttiin siis tietää, miten tasaantuneen levyn kosteusjakauma muuttuisi kuuden viikon aikana. Oikaisukokeen jälkeen levyn kosteusjakauma oli epätasainen. Levy oli keskeltä yhä tasaantumishuoneen kosteudessa (8,0 %) ja reunoilla kosteus oli selvästi alempi (n. 6,5 %). Kokeen tulos osoittaa selvästi, että pallelinn olevan vanerilevyn kosteusjakauma muuttuu melko lyhyessä ajassa levyn reunoilta jos ulkoiset olosuhteet (RH ja lämpötila) eivät pysy vakioina. Tässä yhteydessä herää kysymys siitä, auttaisiko pallelinn pakkaaminen muoviiin ratkaisevasti levyn kosteusjakauman muutoksiin.

5.1.9. Kosteus- ja lämpötilaseuranta

Ulkoilman sekä tehtaan eri osastojen ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa on seurattu kuvissa 73 ja 74. Ilman suhteellista kosteutta tarkasteltaessa huomioidaan, että muuttuva ulkoilman kosteus on suoraan verrannollinen vanerin varastokosteuteen, joka kuitenkin hieman on alhaisempi (n. 20 %) kuin ulkoilman kosteus. Tämän perusteella pidempään varastoitujen pallettien kosteus muuttuu eri vuodenaikoina ympäröivien olosuhteiden mukaisesti (kts. kuva 70). Kuvasta 73 nähdään myös, että tehtaan sisäiset kosteusolosuhteet vaihtelevat melko paljon. Myös tehtaan sisäiset kosteudet seuraavat jossain määrin ulkoilman kosteutta.

Huomioitavaa on myös se, että usein aina viikon alussa tehtaan sisäinen kosteus on selvästi noussut. Tämä johtuu joko pidemmistä seisokeista tai normaalista viikonloppuseisokista, joiden aikana ilman suhteellinen kosteus nousee. Tämän vuoksi varsinkin pidempien seisokkien jälkeen tulee välttää sellaisten erikoistilausten liimausta muusta kuin tuoreesta viilusta, joiden toivotaan käyristyvän mahdollisimman vähän. Pidemmän seisokin aikana viiluvaramat tasaantuvat epätasaisesti (kts. kuva 69). Pidemmän seisokin jälkeen on syytä välttää myös aivan ohuimpien vanerirakenteiden liimausta muusta kuin tuoreesta viilusta, koska ohuissa rakenteissa kosteudeltaan epätasaiset viilut saattavat aiheuttaa jo esipuristusvaiheessa huomattavaa levyjen käyristymistä. Alla on esitetty valokuva juuri kuumapuristimeen menneistä levyistä (12 mm koivu INT), jotka on liimattu seisokin jälkeen vanhoista kosteudeltaan epätasaisista viiluista. Levyt ovat jo esipuristusvaiheessa käyristyneet sen verran, että niiden syöttäminen kuumapuristimeen on hankalaa.



Kuva 86. Juuri kuumapuristimeen työnnettyjä esipuristusvaiheen jälkeen käyristyneitä levyjä.

Kun tarkastellaan ilman lämpötilaa eri seurantapaikoilla huomataan, että varastolämpötilat seuraavat hyvin tarkasti ulkolämpötilaa. Tehtaan sisällä lämpötila ei vaihtelee yhtä paljon eri osastoilla kuin ilman suhteellinen kosteus. Myöskään lämpötila viikon alussa ei eroa normaalista. On kuitenkin muistettava, että puun tasapainokosteuteen vaikuttavat ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila yhdessä.

Kuvassa 75 on esitetty eri viiluvaretojen tasapainokosteuksia. Kuvasta on huomattavissa sama trendi kuin mitä ilman suhteellisella kosteudella on kuvassa 73. Puun tasapainokosteus on viikon alussa selvästi korkeampi kuin loppuviikolla eri viiluvaretoissa. Kuvan perusteella voidaan todistetusti osoittaa, että kauan eri viiluvaretoissa varastoidut viilut ovat myös ladontavaiheessa eri kosteustilassa. Tällaiset viilut aiheuttavat koetulosten osoittamalla tavalla valmiiden levyjen voimakasta käyristymistä.

Koska vaneritehtaiden viiluvareto sijaitsivat yleensä varsin laajalla alalla ja joskus jopa eri puolilla tehdasta, on selvää että viilujen tasapainokosteudet vaihtelevat tehtaan eri puolilla. Viiluvaretoja tulisi pyrkiä rationalisoimaan siten, että niiden ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila olisivat mahdollisimman samanlaiset. Tällöin ladontavaiheessa viilujen kosteus saataisiin paremmin hallintaan ja kosteuseroista aiheutuvaa levyjen käyristymistä voitaisiin vähentää. Koska useissa tehtaissa viiluvareto sijaitsivat tilan puutteen takia eri kosteusolosuhteissa, kannattaisi harkita varsinkin erikoistilauksien (esim. stanssilevyt) viilujen varastoimista samassa paikassa tai samanlaisissa olosuhteissa. Tulevaisuuden vaneritehtaisiin tulisi suunnitella ja rakentaa tasaantumishallit viiluvaretoiksi. Niiden lämpötilaa ja kosteutta voitaisiin halutulla tavalla säätää. Viilujen tasaantumishallien avulla voitaisiin kosteuseroista aiheutuvaa vanerin käyristymistä vähentää.

Joustavalla tuotannonohjauksella voidaan myös ehkäistä vanerin käyristymistä. Jos esimerkiksi erikoistilauksilta vaaditaan hyvää muotopysyvyyttä ja tasomaisuutta, on tuotantovaiheessa tärkeää ohjata tilaukseen mahdollisimman sopivat raaka-aineet. Sopivilla raaka-aineilla tarkoitetaan sellaisia viiluja, jotka ovat saman ikäisiä ja mahdollisimman samassa kosteustilassa. Lahden tehtailla olevan Avonius-tuotannonohjaussysteemin avulla voidaan viiluvaretoja seurata tehokkaasti. Systeemin avulla saadaan tietoa mm. viilujen iästä ja varastointipaikasta.

5.2. Laboratoriokokeet

Laboratoriokokeissa tutkittiin eri kosteusolosuhteiden vaikutusta koelevyjen käyristymiseen. Kuvissa 76 - 79 on laboratoriokokeiden tulokset ilmaistu pylväsdiagrammeina. Taulukossa 2 on jokaiselle kosteusolosuhteelle laskettu myös levyjen keskimääräiset tulokset. Liitteessä 10 on esitetty kunkin tasaantumisvaiheen aiheuttama kosteusjakauma kosteusnäytelevyissä.

Tarkasteltaessa käyristymistuloksia levyn leveyssuunnassa voidaan havaita, että käyryys on keskimäärin vähäisintä kosteudessa RH 80 % ja selvästi suurinta kosteudessa RH 30 %. Olosuhteiden RH 50 % ja RH 80 % välillä erot eivät ole kuitenkaan kovin suuret. Saadut tulokset vastaavat myös tutkimusten /11./, /12./ ja /14./ tuloksia. Koelevyn käyttäytymisestä leveyssuunnassa on huomattava levyjen KL ja KP tulosten suuret vaihtelut eri olosuhteissa. Tämä käyttäytyminen aiheutuu viilujen kosteuseroista ja niiden erilaisista kosteuselämisominaisuuksista. Huomattavaa on myös, että koelevyn OHU eläminen on hyvin vähäistä eri kosteusolosuhteissa.

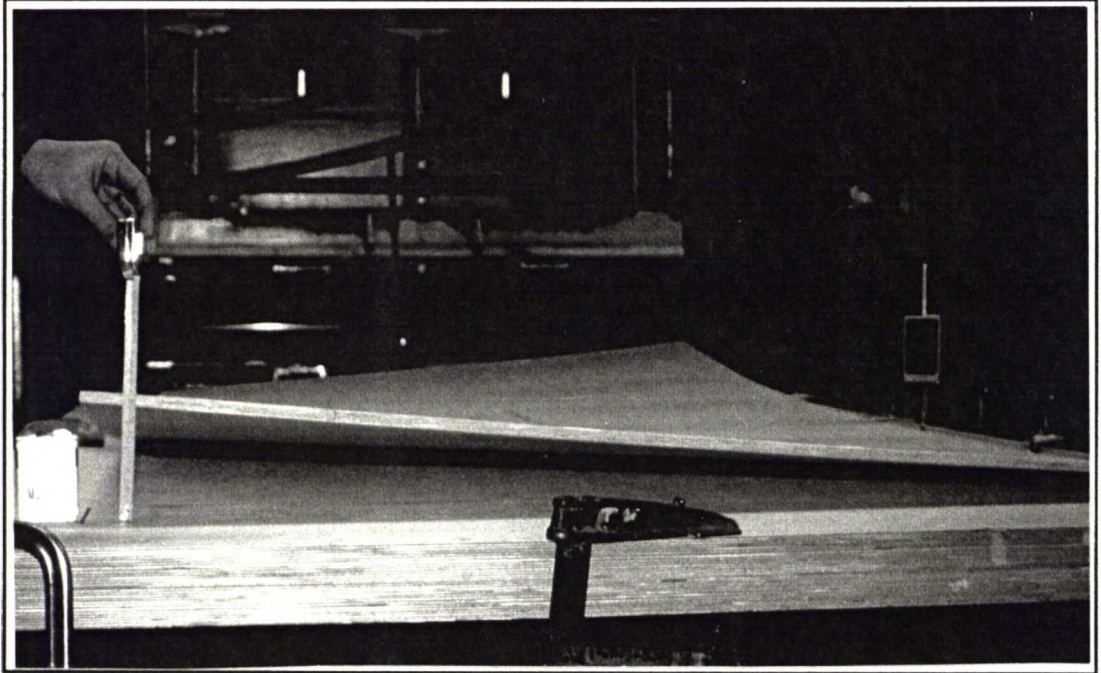
Käyristymistulokset levyn pituussuunnassa ovat suunnilleen samaa suuruusluokkaa kaikissa kosteusolosuhteissa. Kosteudessa RH 30 % tulokset ovat kuitenkin hieman suuremmat kuin muissa kosteuksissa. Tulos tukee myös aikaisempia tutkimuksia. Huomattavaa on koelevyn KP luokkaa suurempi käyristyminen, joka levyn pituussuunnassa johtuu pintaviilujen erilaisesta kosteuselämisominaisuudesta. Yleisesti voidaan sanoa, että kosteusvaihteluista johtuva käyristyminen levyn pituussuunnassa on vähäisempää kuin levyn leveyssuunnassa.

Levyjen kierouksia tarkasteltaessa käy ilmi, että tulosten vaihtelu eri kosteusolosuhteissa on melko suurta. Kosteustilassa RH 30 % levyt ovat kieroimmillaan. Tällöin levyistä mitattu puun tasapainokosteus on noin 7,4 %. Koelevyjen KL ja KP tulokset ovat taas suurimmat ja ne vaihtelevat eri olosuhteissa myös eniten. Koelevy OHU käyttäytyy hyvin stabiilisti kaikissa olosuhteissa.

Asiakasmittauksen tuloksista nähdään, että ne ovat hyvin samantlaiset kuin kierouden tulokset. Yleisesti voidaan sanoa, että asiakasmittauksen tulokset ovat varsin samansuuntaiset kuin muutkin tulokset. Tämän perusteella se sopii hyvin suuntaa antavaksi mittausmenetelmäksi esimerkiksi asiakkaalle.

Tutkimuksessa /11./ on todettu vanerin käyryydellä ja kieroudella olevan minimikohtansa kosteuden ollessa 9 - 11 %:n välillä. Tällöin levy on suorimmillaan ja käyryys ja kierous suurenevat sitä enemmän, mitä enemmän vanerin kosteus poikkeaa tästä kosteudesta. Tämä pitää paikkansa myös laboratoriokokeiden kanssa. Kuvia 76 - 79 katseltaessa voidaan selvästi havaita, että

olosuhteessa RH 80 % tulokset jäävät kautta linjan pieniksi. Tasaannutuksen jälkeen levyjen kosteus oli noin 12,9 %. Kosteudessa RH 50 % mitatut tulokset ovat hyviä, mutta tulosten hajonta on suurempi kuin tulosten kosteudessa RH 80 %. Tasaannutuksen jälkeen levyjen kosteus oli noin 8,6 %. Kosteudessa RH 30 % levyt olivat käyrimmillään. Tasaannutuksen jälkeen levyjen kosteus oli noin 7,4 %. Kuvassa 87 on esitetty kuva yhdestä KP koelevystä mittauspöydällä, RH 30 % tasaannutuksen jälkeen. Kuvan levyn käyryys levyn leveyssuunnassa on 23,5 mm/m, pituussuunnassa 5,8 mm/m, kierous 65,5 mm ja kulman etäisyys tasosta 117,9 mm.



Kuva 87. Esimerkki käyristyneestä levystä.

5.3. Täydentävät kokeet

Täydentävillä kokeilla haluttiin tutkia levyn paksuuden vaikutusta käyristymiseen koelevyillä N, HU, S, SK ja OHU. Kuvissa 82 - 85 on esitetty levyn paksuuden vaikutus käyristymiseen kyseisillä koelevyillä. Taulukossa 3 on laskettu sekä 18 mm että 12 mm levyjen tulosten keskimääräiset arvot.

Levyn leveyssuuntaista käyristymistä tarkasteltaessa huomataan, että 18 mm vanereilla ainoastaan koelevyn N käyryys on pienempi kuin vastaavalla 12 mm vanerilla. Paksumpien levyjen käyryys tässä suunnassa on keskimäärin suurempaa kuin ohuempien.

Käyryys levyn pituussuunnassa on molemmilla levynpaksuuksilla samaa luokkaa. Merkittävää eroa ei tuloksilla ole.

Paksummat 18 mm levyt ovat hieman kierompia kuin 12 mm levyt. Ainoastaan koelevyllä N kierous on päinvastoin.

Asiakasmittauksen tulokset ovat varsin samanlaiset kuin muidenkin mittausten. Ohuemmat levyt ovat menestyneet mittauksessa keskimäärin paremmin.

Aikaisempien tutkimusten /11./ ja /14./ mukaan levyjen käyristyminen ja kieroutuminen on kääntäen verrannollista levyn paksuuteen. Tätä tulosta eivät täydentävien kokeiden tulokset vastaa muuta kuin koelevyn N osalta. Koelevyn OHU kohdalla tulee muistaa, että 12 mm ja 18 mm levyt oli liimattu eri liimalla, ja että 12 mm levyt oli valmistettu tuoreesta viilusta ja 18 mm levyt varastoviiluista. Täydentävien kokeiden tulosten perusteella voidaan sanoa, että 12 mm ja 18 mm vanerien käyristyminen ja kieroutuminen ovat suuruudeltaan suunnilleen samaa luokkaa.

5.4. Raaka-aineen vaikutus käyristymiseen

Vanerilevyyn käytetyllä raaka-aineella saattaa olla vaikutusta vanerin käyristymiseen. Tätä tutkittiin vertailemalla koelevyjen tuloksia toisiinsa. Tässä yhteydessä ei raaka-aineen laadulla tarkoiteta viilun laatua vaan tukkiraaka-aineen laatua.

Koelevyt HY, HU ja N on valmistettu erilaisesta pölliraaka-aineesta. Koelevyjen HY viilut sorvattiin erikoisen hyvälaituisista ja lieeriömaisistä pölleistä. Koelevyjen HU viilut sorvattiin päinvastoin erikoisen huonolaatuisista ja kieroista pölleistä. Normaalityötannon levyt N sorvattiin normaalityötannon mukaisista pölleistä. Tehdaskokeiden perusteella laaditussa paremmuusjärjestyksessä (kuva 55) levyt sijoittuvat järjestykseen HU, N ja HY. Laboratoriokokeiden perusteella paremmuusjärjestys (kuva 80) on taas HY, N ja HU. Kosteuseläminen oli siis koelevyillä HY vähäisintä. Huonoista pölleistä valmistetut levyt olivat tehdaskokeissa erittäin suoria ja tasomaisia. Tämä hieman yllättävä tulos voi johtua siitä, että levyjen sisällä eri viilukerrostojen sisäiset voimat ovat sekoittuneet ja kumonneet toisensa. Laboratoriokokeissa samat levyt eivät kuitenkaan eri kosteusolosuhteissa menestyneet yhtä hyvin. Täydentävissä kokeissa koelevyjen HU tulokset erosivat täysin tehdaskokeiden tuloksista. Tämän tutkimuksen perusteella ei sorvattavan raaka-aineen laadulla ole merkittävää vaikutusta vanerin käyristymiseen.

Kun halutaan tietää, onko tukkiraaka-aineella, joka on ollut kauan vesivarastoituna eroa tukkiraaka-aineeseen, joka on ns. autopuuta, vertaillaan koelevyjä U ja N. Sekä tehdas- että laboratoriokokeiden perusteella nähdään, että autopuusta valmistetut levyt ovat keskimäärin hieman suurempia kuin kauan vesivarastoidusta puusta valmistetut levyt.

Vertailtaessa sekavanerin CO ja koivuvanerin N välisiä eroja tehdyissä kokeissa todetaan, että sekavaneri käyristyy ja kieroutuu enemmän kuin koivuvaneri. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että sekavanerissa kuusi- ja koivuviilujen kosteuselämisominaisuudet eroavat toisistaan.

Vertaillaan vielä koelevyjä J, SK ja N keskenään. Koelevyissä J haluttiin tutkia onko liimaviilujen jatkoskohdalla vaikutusta levyn käyristymiseen. Koelevyissä SK taas tutkittiin, miten saumatut viilukappaleet kuivina keskimmaisviiluina vaikuttavat levyn tasomaisuuteen. Kokeiden tulosten perusteella voidaan sanoa, että liimaviilujen jatkoskohdalla ei ole merkittävää vaikutusta käyristymiseen. Tehdaskokeissa koelevy SK on menestynyt kaikissa tasaanutuksen jälkeisissä mittauksissa paremmin kuin normaali-tuotannon koelevy N. Laboratoriokokeissa molemmat levytyypit ovat menestyneet keskimäärin yhtä hyvin. Koelevyn SK hyvä menestyminen ja tasomaisuus johtuvat todennäköisesti siitä, että pienistä saumauskappaleista koottu kuiva keskimmaisviilukerros ei elä eikä johda viilun sisäisiä voimia yhtä voimakkaasti kuin ehjä ja yhtenäinen viilu. Tulosten perusteella voidaan todeta, että käyttämällä ns. saumauskappaleita kuivina keskimmaisviiluina, voidaan jossain määrin ehkäistä vanerin käyristymistä.

5.5. Liiman vaikutus vanerin käyristymiseen

Liiman vaikutusta vanerin käyristymiseen voidaan tutkia vertailemalla koelevyjen INT, 18 ja N tuloksia toisiinsa. Koelevyt INT ja 18 liimattiin ureamelamiini-liimalla ja koelevy N liimattiin fenoliformaldehydi-liimalla. Vertailtaessa 12 mm koelevyjen INT ja N tuloksia toisiinsa nähdään selvästi sekä tehdas- että laboratorio-kokeiden perusteella, että fenoliformaldehydi-liima on selvästi parempi vanerin muotopysyvyyden kannalta kuin ureamelamiini-liima. Samoihin tuloksiin päädytään myös 18 mm koelevyillä. Tutkimus /16./ tukee myös saatuja tuloksia.

5.6. Viilun paksuuden vaikutus vanerin käyristymiseen

Tutkittaessa onko viilun paksuudella vaikutusta saman paksuisten vanerilevyjen käyristymiseen, vertaillaan koelevyjen OHU ja INT tuloksia. Levyssä OHU käytetty viilunpaksuus oli 1,2 mm ja levyssä INT 1,5 mm. Molemmat levytyypit liimattiin ureamelamiini-liimalla. Sekä tehdas- että laboratorio-kokeiden tulosten perusteella voidaan todeta, että ohutviilusta valmistetut koelevyt OHU käyristyvät selvästi vähemmän kuin koelevyt INT. Lisäksi on huomioitava, että vaikka koelevyt OHU on liimattu ureamelamiini-liimalla, ne sijoittuvat kaikissa tehdyissä kokeissa erittäin hyvin. Täydennyskokeissa mukana ollut koelevy OHU, joka oli 18 mm paksu ja fenoliformaldehydi-liimalla liimattu, ei eronnut

tuloksissa juurikaan muista mukana olleista koelevyistä. Syynä tähän on todennäköisesti se, että täydennyskokeissa ainoastaan koelevy OHU jouduttiin valmistamaan vanhoista varastoviiluista.

Tutkimuksessa /10./ on päädytty myös samanlaisiin tuloksiin. Ohutviilurakenteella on selvä ehkäisevä vaikutus vanerin käyristymiseen sekä levyn pituus- että leveyssuunnassa (kts. kuva 16 ja 17). Ohutviilurakenteen vähäisempi käyristyminen saattaa johtua useammasta liimasaumasta levyrakenteessa tai ohuemman viilun pienemmistä kosteuselämisominaisuuksista. Koponen on tutkimuksissaan todennut, että vanerin liimasauma vastaa 0,7 mm viilukerrosta. Liimasaumat estävät kosteudensiirtymistä levyn tasossa ja näin omalta osaltaan ehkäisevät levyn kosteuselämistä.

5.7. Ladontatavan vaikutus käyristymiseen

Ladontatavan vaikutusta levyn käyristymiseen tutkittiin vertailemalla koelevyjen S ja N tuloksia keskenään. Koelevyissä S viilut käännettiin symmetrisesti sorvaushalkeamien suhteen. Koelevyissä N viilut ladottiin normaalituotannon mukaisesti siten, että vain levyn pintaviilut käännettiin symmetrisesti. Tehdaskokeissa heti valmistuksen jälkeisissä tuloksissa koelevy N menestyi hieman paremmin, mutta tasaannutuksen jälkeisissä tuloksissa taas koelevy S oli keskimäärin suorempi. Laboratoriokokeissa koelevy N säilytti tasomaisuutensa paremmin eri kosteusolosuhteissa kuin koelevy S. Myös täydennyskokeissa koelevy N menestyi paremmin. Kokeiden tulosten perusteella voidaan sanoa, että viilujen ladontatavalla ei ole merkitystä vanerin käyristymiseen. Vastaviin tuloksiin päätyi myös Kemppainen omassa tutkimuksessaan /9./.

5.8. Levyn sisäisten kosteuserojen vaikutus käyristymiseen

Levyn sisäisten kosteuserojen vaikutusta vanerin käyristymiseen tutkittiin vertailemalla koelevyjen KL, KP ja N tuloksia. Koelevyissä KL yksi liimaviilu oli noin 4 % kosteampi kuin muut viilut. Koelevyissä KP toinen pintaviilusta oli noin 4 % kosteampi kuin toinen pintaviilu. Koelevyissä N kaikki viilut olivat keskimäärin samassa kosteudessa. Sekä tehdas- että laboratoriokokeissa koelevyt KL ja KP menestyivät kaikista koelevyistä huonoiten. Huomionarvoista on, että levy KP käyristyy enemmän kuin levy KL sekä leveys- että pituussuunnassa. Nämä tulokset on selitettävissä puun kutistumisominaisuuksien avulla. Levyssä KP kostea pintaviilu kutistuu voimakkaammin levyn leveys- kuin pituussuunnassa. Tästä aiheutuu levyn voimakas käyristyminen juuri leveyssuunnassa.

Koelevyissä KL kostea liimaviilu on 90° kulmassa pintaviilun syy-suuntaan nähden. Levy KL kutistuu enemmän levyn leveyssuunnassa. Pituussuuntainen käyristyminen on hyvin vähäistä. Tämä saattaa johtua siitä, että kostea liimaviilu ei pysty levyn keskellä liimasaumojen ympäröimänä kutistumaan yhtä paljon kuin kostea pintaviilu.

Koetulosten perusteella todetaan, että jo yksi ainoa normaalia kosteampi liima- tai pintaviilu levyssä, saa aikaan vanerin voimakasta käyristymistä ja kieroutumista. Kemppainen sai tutkimuksessaan /9./ samanlaisia tuloksia.

5.9. Levyn paksuuden vaikutus käyristymiseen

Vaikka täydentävien kokeiden tulosten tarkastelun yhteydessä vertailtiin jo levyn paksuuden vaikutusta käyristymiseen, niin tässä yhteydessä tarkastellaan vielä koelevyjen INT sekä 18 tehdas- ja laboratoriokokeiden tuloksia. Molemmat koelevyt liimattiin ureamelamiini-liimalla. Koelevy INT oli paksuudeltaan 12 mm. Kaikissa tehdaskokeen tasaannutuksen jälkeisissä tuloksissa koelevy 18 on käyristynyt ja kieroutunut vähemmän kuin koelevy INT. Myös laboratoriokokeiden tuloksista nähdään, että paksuuden levyn 18 muotopysyvyys eri kosteusolosuhteissa on parempi kuin ohuemman levyn INT. Näiden koetulosten perusteella käy ilmi, että 18 mm vaneri käyristyy ja kieroutuu vähemmän kuin 12 mm vaneri. Saadut tulokset ovat yhteneviä aikaisempien tutkimusten /12./ tulosten kanssa.

5.10. Levyn pinnoituksen vaikutus käyristymiseen

Levyn pinnoituksen vaikutusta vanerin käyristymiseen tutkittiin vertailemalla koelevyjen WF, WW, DB ja N tuloksia toisiinsa. Heti valmistuksen jälkeisiä tuloksia tehdaskokeissa ei kannata analysoida, koska osa pinnoitetuista levyistä valmistettiin muilla tehtailla ja siksi niiden tarkkaa valmistusikää ei tiedetty. Tasaannutuksen jälkeisissä mittauksissa selvästi parhaiten pinnoitetuista levyistä menestyi koelevy DB. Koelevy WW käyristyi hieman enemmän kuin levy WF sekä levyn leveys- että pituussuunnassa. Tämä johtui ilmeisesti siitä, että levyn WF molemmat pinnat olivat täysin samanlaiset ja levyn WW pinnat erosivat valmistusteknisesti toisistaan. Tätä tulosta tukee myös tutkimus /15./. Vaikka levy DB pärjäsi kohtalaisen hyvin tehdaskokeissa, niin yleistäen voidaan sanoa, että kaikki kokeissa mukana olleet pinnoitetut levyt käyristyivät ja kieroutuivat keskimäärin enemmän kuin pinnoittamattomat levyt. Tämän tuloksen ei välttämättä tarvitse pitää paikkaansa, jos noudatetaan tutkimuksen /15./ ohjeita ja suosituksia.

5.11. Käytettyjen mittausmenetelmien analysointi

Kaikissa tehdas-, laboratorio- ja täydennyskokeissa käytettiin samoja mittausmenetelmiä. Kaikissa menetelmissä levyt mitattiin vaakasuoralla pinnalla. Kemppainen sai tutkimuksessaan /9./ suuruusluokaltaan jonkin verran suurempia käyristymisarvoja koelevyille, koska levyt mitattiin niiden ollessa pystyasennossa. Tällöin levyn oma paino ei päässyt vaikuttanut tulokseen.

Tässä tutkimuksessa saadut koetulokset, joista monet vastaavat hyvin teoriaa, osoittavat omalta osaltaan, että käytetyt mittausmenetelmät ovat olleet perusteltuja ja sopivia vanerin käyristymistä tutkittaessa. Kaikki laboratoriomittausmenetelmät vastaavat suunnilleen tutkimusten /9./, /11/ ja /12./ mittausmenetelmiä. Erona on ainoastaan kokeissa käytetty käyryysmittari.

Tässä tutkimuksessa kehitettiin uusi asiakasmittausmenetelmä. Asiaksmittauksen periaatteena on olla mahdollisimman helppo tapa määrittää levyn käyryys ja kierous. Menetelmän etuna on, että erillisiä laitteita tai mittareita ei tasomaisuuden määrittämiseen tarvita. Asiaksmittauksen tulokset vastaavat hyvin kaikkia muita tuloksia, (vrt. kuvat 76 -79) varsinkin levyn kierouden tuloksia. Se on menetelmä, jonka avulla voidaan todeta levyn tasomaisuuden aste vertaamalla mittaustulosta esimerkiksi tässä tutkimuksessa saatuihin tuloksiin. Asiaksmittaus ei ole menetelmänä täysin tarkka, vaan sen avulla on tarkoitus saada käsitys mitattavasta levystä, mitä suuruusluokkaa sen käyristyminen tai kieroutuminen on.

Minkäänlaisia toleransseja vanerin käyristymiselle ja kieroutumiselle on vaikea antaa, koska puu on hyvin epähomogeeninen aine, ja jokainen vanerilevy on varsin erilainen ominaisuuksiltaan. Vanerin tuotannossa on niin paljon erilaisia muuttujia, jotka yhdessä ja erikseen vaikuttavat valmiin levyn ominaisuuksiin. Eniten vanerin käyristymiseen vaikuttavat viilun kosteus ja viilun luonnolliset ominaisuudet. Jos jonkinlaisia toleransseja tämän tutkimuksen perusteella kuitenkin halutaan antaa, voitaisiin koelevyjen KL ja KP mittaustuloksia pitää jonkinlaisina raja-arvoina. Löydetyistä standardeista ainoastaan standardi /7./ antaa vaatimukset vanerilevyn käyryydelle. Levyt KL ja KP ovat käyryydeltään samaa luokkaa kuin ko. standardin vaatimustaso. Standardin /6./ vaatimuksissa on huomautettu, että monet tekijät kuten kosteus- ja lämpötilamuutokset saattavat aiheuttaa levyjen käyristymistä ja kieroutumista, ja tämän takia standardin vaatimukset ovat voimassa vain levyjen toimitusten ajan.

6. YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää vanerin käyristymisen syitä ja samalla löytää tuotantoon sopivia käytännön ratkaisuja vanerin käyristymisen ehkäisemiseksi.

Työn kirjallisuusosassa selvitettiin aihepiiriin liittyvää sanastoa, standardeja sekä aiheesta aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia. Standardien yhteydessä selvitettiin erilaisia mittausmenetelmiä vanerin käyristymisen ja kieroutumisen määrittämiseksi. Aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia ja niiden tuloksia tarkasteltiin soveltuvilta osin.

Kokeellisessa osassa esiteltiin valitut koelevyt, tehdyt kokeet ja käytetyt mittausmenetelmät. Kokeellinen osa jaettiin kolmeen osaan: tehdas-, laboratorio- ja täydentävät kokeet. Tehdaskokeissa valmistettiin koelevyt ja tutkittiin niiden käyristymistä tehdasolosuhteissa. Laboratoriokokeet tehtiin kosteushuoneessa, jonka olosuhteita voitiin halutulla tavalla säätää. Kosteusolosuhteet olivat RH 50 %, RH 85 % ja RH 30 %. Täydentävät kokeet täydensivät tehdaskokeita.

Tehdaskokeissa koelevyjen käyryys heti valmistuksen jälkeen oli vähäistä. Leveys- ja pituussuuntainen käyryys olivat mittauksissa samaa suuruusluokkaa. Levyjen kierous oli myös melko vähäistä. Tämän tutkimuksen sekä aikaisempien tutkimusten tulosten perusteella voidaan sanoa, että levyt ovat suorimmillaan heti valmistuksen jälkeen.

Tehdaskokeiden tärkeimmät tulokset saatiin levyjen tasaannutuksen jälkeisissä mittauksissa. Tuloksista nähdään, että käyryys levyn leveyssuunnassa on suurempi kuin levyn pituussuunnassa. Tuloksista käy ilmi varsin selvästi eri koelevyjen käyristyminen ja kierourtuminen.

Oikaisukokeessa tutkittiin käyristyneiden koelevyjen oikaisua. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että käyristyneitä levyjä voidaan oikaista tietyssä määrin pitämällä niitä sopiva aika painon alla. Levyt suoristuivat kokeen aikana keskimäärin 25 %.

Paloittelukokeessa tutkittiin levyn paloittelun vaikutusta käyristymiseen. Tuloksista käy ilmi, että levyn oma paino vaikuttaa eri kokoisilla levyillä eniten mittaustuloksiin. Levyn paloittelun vaikutus käyristymiseen voi olla joskus yllättäväkin, sillä sahattaessa levyn sisäiset voimat joko laukeavat tai vapautuvat.

Levyjen kosteutta ja kosteusjakaumaa tutkittiin heti kuumapuristuksen jälkeen. Tulokseksi saatiin, että kosteus levyn keskellä on suurempi kuin reunoilla. Eri paksuisten levyjen keskikosteudet vaihtelivat välillä 6,8 - 9,6 %. Yleensä levyn kosteus kuumapuris-

tuksen jälkeen on suoraan verrannollinen levyn paksuuteen. Tulosten perusteella INT-liimattujen vanereiden keskikosteus oli hieman suurempi kuin WBP-liimattujen vanereiden. Tuloksista voidaankin päätellä, että levyn kosteuteen kuumapuristuksen jälkeen vaikuttavat pääasiassa viilujen alkukosteus, levyn paksuus ja käytetty liima.

Tutkittaessa viilun ja vanerin kosteutta eri olosuhteissa tehtiin tärkeitä huomioita. Kauan varastoidun viiluarkin kosteusjakauma pinkassa on hyvin epätasainen. Tällaisista viiluista liimattu vanerilevy on erittäin altis käyristymään. Varastossa kauan seisseessä vaneripalletissa levyn kosteusjakauma muuttuu ulkoisten olosuhteiden mukaisesti erikoisesti levyn reunoilta. Erikoistilausten yhteydessä kannattaisi vaneripalletin pakkaamista muoviin harkita levyjen kosteusjakauman muutosten ehkäisemiseksi.

Tehtaan eri osastojen sekä ulkoilman suhteelista kosteutta ja lämpötilaa seurattaessa tärkeimmät huomiot olivat, että yleensä viikon alussa tehtaan sisäinen kosteus oli ylimmillään. Tämä johtui viikonlopun tai muun seisokin aiheuttamasta tauosta. Seisokin jälkeen tulee välttää erikoistilausten ja aivan ohuiden vanerirakenteiden liimausta muusta kuin tuoreesta viilusta, koska kosteudeltaan epätasaiset viilut saattavat aiheuttaa jo esipuristusvaiheessa levyn huomattavaa käyristymistä. Tutkittaessa eri viiluvästöjen puun tasapainokosteuksia voidaan osoittaa, että niiden tasapainokosteudet poikkeavat toisistaan. Kosteuserojen takia ladonnassa levyjen kosteusjakauma ei ole tasainen ja tämän takia levyt yleensä käyristyvät. Joustavan tuotannonohjauksen avulla voidaan mahdollisimman sopivat ja tuoreet viilut ohjata erikoistilauksia varten ladontaan, jolloin vanerin käyristymiseen voidaan vaikuttaa ennalta ehkäisevästi.

Laboratoriokokeissa tutkittiin vanerin käyristymistä ja kieroutumista eri kosteusolosuhteissa lämpötilan ollessa vakio 20 °C. Kokeiden perusteella havaittiin, että kosteudessa RH 80 % levyt olivat suorimmillaan ja vastaavasti kosteudessa RH 30 % käyrimillä ja kieroimmillaan. Tulosten perusteella kosteusolosuhteiden muuttuminen aiheuttaa vanerin voimakasta käyristymistä ja elämistä.

Raaka-aineen vaikutuksesta vanerin käyristymiseen voidaan sanoa, ettei sorvattavan raaka-aineen laadulla ole merkittävää vaikutusta käyristymiseen. Tuoreesta autokuljetuspuusta saatiin valmistettua suurempaa vaneria kuin kauan vesivarastoidusta puusta. Kokeissa koivuvaneri käyristyi vähemmän kuin sekavaneri. Myös liimaviilujen jatkoskohtien merkitystä käyristymiseen tutkittiin ja siitä todettiin, ettei jatkoskohdilla ole merkittävää vaikutusta. Saumauskappaleiden käytön vaikutusta tutkittiin myös. Tulosten perusteella nähdään, että käyttämällä ns. saumauskappaleita kuivina keskimmaisviiluina voidaan vanerin käyristymistä ehkäistä.

Liiman vaikutusta vanerin käyristymiseen tutkittaessa käy ilmi, että fenoliformaldehydi-liima on selvästi parempi vanerin muotopysyvyyden kannalta kuin ureamelamiini-liima.

Tutkittaessa viilun paksuuden vaikutusta vanerin käyristymiseen todetaan, että 1,2 mm paksusta viilusta valmistetut levyt ovat selvästi suurempia ja parempia muotopysyvyydeltään kuin 1,5 mm paksusta viilusta valmistetut levyt. Ohutviilurakenteella on siis selvä ehkäisevä vaikutus vanerin käyristymiseen.

Vanerin ladontatavan vaikutusta levyn käyristymiseen tutkittiin vertailemalla normaalituotannon mukaista ladontaa ja viilujen sorvaushalkeamien suhteen symmetristä ladontaa toisiinsa. Kokeiden tulosten perusteella viilujen ladontatavalla ei ole merkitystä vanerin käyristymiseen.

Levyn sisäisten kosteuserojen vaikutus vanerin käyristymiseen oli selvä. Koetulosten perusteella todetaan, että jo yksi ainoa normaalia kosteampi liima- tai pintaviilu levyssä aiheuttaa vanerin voimakasta käyristymistä ja kieroutumista.

Vaikka täydentävien kokeiden tulokseksi saatiin, että 12 mm ja 18 mm paksujen vanerien käyristyminen on keskimäärin samaa luokkaa, niin sekä tehdas- että laboratoriokokeista selviää, että 18 mm vaneri käyristyy ja kieroutuu vähemmän kuin 12 mm vaneri. Tämän perusteella vanerin käyristyminen on kääntäen verrannollista levyn paksuuteen.

Levyn pinnoituksen vaikutusta käyristymiseen tutkittiin vertailemalla eri pinnoitteilla pinnoitettujen levyjen tuloksia. Yleistäen voidaan todeta, että kaikki kokeissa mukana olleet pinnoitetut levyt käyristyivät ja kieroutuivat keskimäärin enemmän kuin pinnoittamattomat levyt.

Yleensä vanerin käyristymisestä voidaan sanoa, että sitä on mahdotonta kokonaan poistaa, mutta sitä voidaan kuitenkin ehkäistä. Koska puu on varsin epähomogeeninen aine ja tuotannossa on paljon erilaisia tekijöitä, jotka yhdessä ja erikseen vaikuttavat valmiin levyn ominaisuuksiin, on vanerin käyristymiselle ja kieroutumiselle vaikea antaa minkäänlaisia toleransseja. Sen lisäksi, että tuotannossa kiinnitetään erityistä huomiota käyristymisen ehkäisemiseksi, tulee myös asiakasta informoida riittävästi vanerin ominaisuuksista ja käyttäytymisestä.

7. KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Suomen vaneriyhdistys, Vanerituotteet sanasto (SFS 2290 ja ISO 2074).
2. SIS 83 01 10. 1977. Inredningsenheter. Bestämning av mått, vinkel- och formavvikelser hos inredningsenheter. Standardiseringskommissionen i Sverige. 7 s.
3. SFS 4371. 1984. Huonekalut ja kalusteet. Materiaalin laatu ja valmistustarkkuus. Luokittelu. Suomen standardoimisliitto. 14 s.
4. NBR F 12/79. 1979. Bestemmelse av mål, rettvinklethet og planhet. Norges byggstandardiseringsråd. 2 s.
5. BS 6566. 1985. Specification for tolerances on the dimensions of plywood panels. British Standards Institution. 3 s.
6. BS 4965. 1991. Specification for decorative laminated plastics sheet veneered boards and panels. British Standards Institution. 12 s.
7. GOST 8673. 1982. SNTL:n valtiollinen standardi. Vanerilevyt. SNTL:n standardien, mittojen ja mittausvälineiden komitea. 14 s.
8. TGL 23 067. 1972. Fachbereichstandard. Prüfung von Span- und Faserplatten. Bestimmung des Plattenverzuges. Deutsche Demokratische Republik. 3 s.
9. Kemppainen, H., Vanerin käyristyminen, Shauman Wood Oy, 1990, 34 s.
10. Suchsland, O., McNatt, J.D., Computer simulation of laminated wood panel warping, Forest products journal, Vol. 36 (1986), No. 11/12, s. 16...23.
11. Kilpeläinen, H., Kontinen, P., Vanerin dimensiomuutokset kosteuden vaihdellessa, Paperi ja puu, 1974, No 9, s. 702...711.
12. Sorsa, B., Söyrilä, P., Sekavanerin eläminen, Otaniemi 1969, Valtion teknillinen tutkimuslaitos, Puuteknillinen laboratorio, s. 14.
13. Fritz Becker KG, Herstellung verzugsfreier Sperrholzformteile, Holz-Zentrallblatt, 1992, Nr. 26, s. 432.
14. Söyrilä, P., Kosteain viilun liimaus, Espoo 1990, Suomen Puututkimus Oy, 93 s.

15. Shipman, J.M., Bowing of panels, FIRA technical report 40, 1968, Furniture Industry Research Association.

16. Grigoriou, A., Untersuchungen zur Formbeständigkeit von verschiedenen Holzwerkstoffen, Holzforschung und Holzverwertung, 36 (1984), No. 6, s. 116...120.

17. Koponen, H. Kosteusliikkeit ja muodonmuutokset puulevyissä, Espoo 1987, Puun mekaanisen teknologian laboratorio, Tiedonanto 37, 1987, 38 s.

18. Forest products laboratory, Wood Handbook: Wood as an engineering material, Agric. Handbook 72. Washington, DC, 1987, 466 s.

LIITE 1/1

Liitteessä 1 on esitetty koelevyihin (12 mm) käytettyjen viilujen kosteudet.					
koelevy	viilu	paino 1 (g)	paino 2 (g)	kosteus (%)	ka. (%)
N	BB	4,32	4,10	5,37	
N	BB	3,15	3,04	3,62	
N	BB	3,61	3,45	4,64	4,54
N	PK	4,15	4,00	3,75	
N	PK	3,33	3,12	6,73	
N	PK	4,38	4,13	6,05	5,51
N	HK	3,83	3,65	4,93	
N	HK	5,42	5,21	4,03	
N	HK	4,19	3,88	7,99	5,65
HY	BB	3,90	3,73	4,56	
HY	BB	2,96	2,82	4,96	
HY	BB	2,71	2,58	5,04	4,85
HY	PK	5,11	4,88	4,71	
HY	PK	3,88	3,70	4,86	
HY	PK	2,98	2,85	4,56	4,71
HY	HK	5,95	5,58	6,63	
HY	HK	4,89	4,71	3,82	
HY	HK	3,37	3,23	4,33	4,93
HU	BB	3,86	3,63	6,34	
HU	BB	3,01	2,82	6,74	
HU	BB	2,83	2,63	7,60	6,89
HU	PK	4,35	4,12	5,58	
HU	PK	3,59	3,37	6,53	
HU	PK	3,78	3,61	4,71	5,61
HU	HK	4,81	4,51	6,65	
HU	HK	1,91	1,77	7,91	
HU	HK	2,82	2,63	7,22	7,26
∞	BB	3,49	3,31	5,44	
∞	BB	3,17	2,99	6,02	
∞	BB	3,27	3,10	5,48	5,65
∞	PK	5,39	5,16	4,46	
∞	PK	2,89	2,75	5,09	
∞	PK	3,35	3,20	4,69	4,75
∞	HK (havu)	1,79	1,73	3,47	
∞	HK (havu)	2,97	2,83	4,95	
∞	HK (havu)	3,31	3,13	5,75	4,72

LIITE 1/2

koelevy	viilu	paino 1 (g)	paino 2 (g)	kosteus (%)	ka. (%)
SK	BB	4,22	4,00	5,50	
SK	BB	3,41	3,25	4,92	
SK	BB	3,82	3,65	4,66	5,03
SK	PK	4,76	4,59	3,70	
SK	PK	5,12	4,83	6,00	
SK	PK	3,74	3,58	4,47	4,73
SK	HK	3,28	3,10	5,81	
SK	HK	3,00	2,83	6,01	
SK	HK	5,42	5,12	5,86	5,89
J	BB	4,44	4,18	6,22	
J	BB	4,27	4,04	5,69	
J	BB	4,26	4,01	6,23	6,05
J	PK	4,40	4,16	5,77	
J	PK	3,28	3,08	6,49	
J	PK	4,49	4,27	5,15	5,80
J	HK	5,28	5,08	3,94	
J	HK	6,44	6,17	4,38	
J	HK	4,25	4,08	4,17	4,16
WF	BB	4,75	4,54	4,63	
WF	BB	4,77	4,52	5,53	
WF	BB	6,66	6,33	5,21	5,12
WF	PK	4,04	3,83	5,48	
WF	PK	5,30	5,10	3,92	
WF	PK	5,08	4,76	6,72	5,38
WF	HK	4,23	4,11	2,92	
WF	HK	3,90	3,64	7,14	
WF	HK	4,28	4,09	4,65	4,90
OHU	BB	4,85	4,63	4,75	
OHU	BB	5,98	5,66	5,65	
OHU	BB	3,05	2,92	4,45	4,95
OHU	PK	4,73	4,51	4,88	
OHU	PK	4,20	4,01	4,74	
OHU	PK	5,73	5,46	4,95	4,85
OHU	HK	3,71	3,53	5,10	
OHU	HK	3,89	3,70	5,14	
OHU	HK	5,77	5,51	4,72	4,98

LIITE 1/3

koelevy	viilu	paino 1 (g)	paino 2 (g)	kosteus (%)	ka. (%)
INT	S	7,52	7,25	3,72	
INT	S	5,55	5,25	5,71	
INT	S	6,19	5,98	3,51	4,32
INT	PK	4,06	3,90	4,10	
INT	PK	6,50	6,12	6,21	
INT	PK	7,39	6,97	6,03	5,45
INT	HK	8,11	7,68	5,60	
INT	HK	6,62	6,34	4,42	
INT	HK	5,48	5,20	5,38	5,13
U	BB	6,50	6,34	2,52	
U	BB	6,91	6,81	1,47	
U	BB	7,36	7,19	2,36	2,12
U	PK	6,83	6,66	2,55	
U	PK	9,05	8,88	1,91	
U	PK	6,02	5,79	3,97	2,81
U	HK	8,93	8,75	2,06	
U	HK	5,48	5,41	1,29	
U	HK	5,86	5,80	1,03	1,46
KL	BB	4,28	4,11	4,14	
KL	BB	3,85	3,73	3,22	
KL	BB	5,11	4,94	3,44	3,60
KL	PK (kuiva)	6,19	5,84	5,99	
KL	PK (kuiva)	5,96	5,69	4,75	
KL	PK (kuiva)	8,39	7,95	5,53	5,42
KL	PK (kost.)	4,63	4,37	5,95	
KL	PK (kost.)	5,78	5,45	6,06	
KL	PK (kost.)	5,40	5,13	5,26	
KL	PK (kost.)	2,81	2,68	4,85	
KL	PK (kost.)	8,54	8,12	5,17	5,46
KL	HK	7,40	7,11	4,08	
KL	HK	6,71	6,52	2,91	
KL	HK	6,12	5,98	2,34	3,11

LIITE 1/4

koelevy	viilu	paino 1 (g)	paino 2 (g)	kosteus (%)	ka. (%)
KP	BB (kuiva)	5,42	5,18	4,63	
KP	BB (kuiva)	6,12	5,88	4,08	
KP	BB (kuiva)	5,38	5,11	5,28	4,67
KP	BB (kost.)	6,56	6,06	8,25	
KP	BB (kost.)	6,75	6,24	8,17	
KP	BB (kost.)	6,40	5,92	8,11	
KP	BB (kost.)	5,42	4,98	8,84	
KP	BB (kost.)	6,94	6,40	8,44	8,36
KP	PK	6,98	6,66	4,80	
KP	PK	4,43	4,21	5,23	
KP	PK	5,02	4,76	5,46	5,16
KP	HK	4,95	4,75	4,21	
KP	HK	5,53	5,30	4,34	
KP	HK	5,85	5,67	3,17	3,91

LIITE 2

Liitteessä 2 on esitetty koelevyjen (12 mm) käyritystulokset heti valmistuksen jälkeen. Tuloksissa on ilmoitettu käyryys levyn leveys- ja pituus-suunnassa, kierous sekä asiakasmittaus. Tuloksille on laskettu myös hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot.								
	N	HY	HU	S	KL	KP	J	SK
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	0,4	0,8	0,3	0,9	1,8	1,3	0,9	0,6
hajonta	0,7	2,3	0,8	2,8	2,2	4,4	2,3	1,5
min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1
max.	2,9	9,8	4,1	8,9	9,8	17,0	9,1	5,1
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	0,8	0,7	1,0	0,9	0,6	3,5	0,7	0,9
hajonta	0,8	0,6	1,1	1,0	0,6	1,1	0,8	0,9
min.	0,0	0,8	0,1	0,0	0,0	1,7	0,1	0,1
max.	3,5	0,0	5,0	3,7	2,3	6,7	4,4	3,8
kierous								
ka. (mm)	1,4	2,2	1,4	2,5	4,9	5,1	1,7	1,5
hajonta	1,2	2,4	1,3	3,6	3,4	5,3	2,0	1,5
min.	-0,9	-0,3	-0,4	-0,4	-0,6	0,6	0,2	-1,1
max.	4,9	8,0	4,1	15,8	10,3	26,0	9,1	5,7
asiakas mit.								
ka. (mm)	3,3	5,4	3,4	6,7	11,6	15,7	7,4	5,2
hajonta	2,4	4,9	3,2	7,0	5,8	10,5	4,3	2,5
min.	0,0	0,0	0,0	1,3	2,1	5,1	1,8	2,3
max.	7,3	15,0	8,9	25,4	22,0	44,2	14,7	10,1
	U	INT	OHU	18	CO	WF	WW	DB
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	1,6	0,8	0,5	1,7	1,2	1,8	2,5	1,0
hajonta	3,5	2,1	1,2	2,5	3,4	4,5	5,9	1,9
min.	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,2	0,0	0,1
max.	12,0	7,8	4,5	8,3	13,0	16,0	18,0	7,1
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	0,7	0,9	0,8	0,8	0,9	1,5	2,2	1,4
hajonta	0,6	0,9	0,7	0,7	0,9	1,6	2,1	1,7
min.	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
max.	2,3	3,6	2,7	3,0	3,8	5,0	6,7	6,3
kierous								
ka. (mm)	1,8	3,0	0,9	5,1	2,1	3,4	3,2	2,4
hajonta	2,9	2,8	1,0	3,6	2,4	3,4	5,2	2,1
min.	0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,6	0,4	0,0
max.	9,4	12,8	4,7	13,0	7,0	11,8	17,8	7,5
asiakas mit.								
ka. (mm)	9,3	8,5	3,9	10,3	9,3	10,9	11,5	10,7
hajonta	6,2	5,8	2,6	3,9	6,4	5,4	11,0	5,3
min.	1,3	2,9	0,0	5,6	2,0	3,3	0,0	4,8
max.	22,7	21,1	11,0	15,4	17,1	20,0	27,0	19,6

LIITE 3

Liitteessä 3 on esitetty koelevyjen (12 mm) käyritystulokset kahden viikon tasaannutuksen jälkeen. Tuloksissa on ilmoitettu käyryys levyn leveys- ja pituussuunnassa, kierous sekä asiakasmittaus. Tuloksille on laskettu myös hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot.								
	N	HY	HU	S	KL	KP	J	SK
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	1,5	1,1	0,4	1,2	2,9	3,3	1,4	1,0
hajonta	3,0	2,4	1,0	3,1	4,7	8,8	3,4	2,3
min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	0,0
max.	10,9	7,4	4,4	11,0	17,8	31,0	13,0	9,0
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	1,0	0,5	0,7	0,8	0,5	3,0	0,7	0,9
hajonta	1,1	0,6	0,8	0,8	0,6	1,6	0,7	0,9
min.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0
max.	4,6	2,8	2,8	3,5	3,0	6,5	2,7	3,8
kierous								
ka. (mm)	3,9	3,5	1,5	3,3	7,4	9,4	3,0	2,3
hajonta	3,3	2,8	1,2	2,9	6,2	10,0	3,2	2,2
min.	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4	0,8	0,3	-0,1	-0,3
max.	13,2	8,4	3,8	10,6	22,5	45,8	10,4	7,0
asiakas mit.								
ka. (mm)	6,7	6,3	3,3	7,7	16,7	21,1	9,6	5,8
hajonta	6,3	5,0	2,7	4,7	11,5	17,2	5,4	2,8
min.	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	7,8	2,0	2,0
max.	22,1	13,9	9,3	14,6	40,2	70,5	19,7	11,5
	U	INT	OHU	18	CO	WF	WW	DB
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	2,0	2,4	1,1	1,9	2,2	2,2	2,5	1,3
hajonta	4,1	4,2	3,5	2,9	5,5	6,8	5,9	1,7
min.	0,1	0,4	0,1	0,6	0,0	0,2	0,1	0,4
max.	12,2	17,8	14,7	9,7	18,6	22,6	18,5	7,7
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	0,4	1,2	1,2	0,8	1,0	1,4	2,9	1,5
hajonta	0,4	1,1	1,2	0,7	0,8	1,8	2,4	1,6
min.	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1
max.	1,9	3,8	4,2	2,7	3,0	5,7	8,4	6,1
kierous								
ka. (mm)	2,4	7,3	2,0	5,3	4,9	4,4	3,3	2,7
hajonta	3,8	5,5	3,2	3,9	4,4	5,7	4,9	2,0
min.	-0,2	0,1	0,0	-0,3	0,0	-0,3	0,3	0,2
max.	14,7	17,9	15,7	14,6	13,0	18,8	17,2	7,8
asiakas mit.								
ka. (mm)	9,9	16,4	6,3	11,4	14,8	12,0	10,1	9,9
hajonta	7,8	10,6	6,1	4,6	8,7	8,6	8,2	4,9
min.	0,0	5,5	0,0	5,5	2,9	4,6	0,0	6,0
max.	22,0	33,3	23,6	19,3	28,3	27,7	22,0	19,3

LIITE 4

Liitteessä 4 on esitetty koelevyjen (12 mm) käyristymistulokset kahden viikon tasaannutuksen jälkeen (tasaantumiskoe). Tuloksissa on ilmoitettu käyryys levyn leveys- ja pituussuunnassa, kierous sekä asiakasmittaus. Tuloksille on laskettu myös hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot.								
	N	HY	HU	S	KL	KP	J	SK
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	1,8	1,5	0,4	1,2	2,3	1,6	1,2	1,2
hajonta	3,0	2,2	0,8	3,9	2,9	2,3	2,8	2,9
min.	0,1	0,1	0,0	0,1	1,5	0,4	0,2	0,0
max.	10,9	7,4	2,7	11,0	11,4	7,6	9,7	9,0
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	1,0	0,6	0,7	0,8	0,4	2,3	0,8	1,0
hajonta	1,0	0,7	0,6	0,6	0,3	1,4	0,8	0,9
min.	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1	0,2
max.	2,7	2,8	1,9	2,0	1,1	4,7	2,7	3,8
kierous								
ka. (mm)	4,7	4,5	0,7	2,6	5,1	6,2	3,4	2,2
hajonta	3,8	3,2	0,9	3,1	4,1	3,9	2,9	2,4
min.	-0,1	0,1	0,0	-0,4	0,9	0,3	0,3	-0,3
max.	13,2	8,4	3,0	10,6	15,2	12,8	9,8	7,0
asiakas mit.								
ka. (mm)	9,1	9,2	1,8	5,6	13,0	13,4	9,6	6,6
hajonta	7,3	3,9	1,9	4,3	4,9	3,8	3,7	2,8
min.	0,0	3,8	0,0	0,0	9,2	7,8	3,8	3,1
max.	22,1	13,9	4,7	12,2	22,7	18,5	13,3	11,5
	U	INT	OHU	18	CO	WF	WW	DB
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	2,2	2,0	1,5	2,1	2,3	2,2	2,5	1,3
hajonta	3,6	3,3	4,4	3,1	5,5	6,8	5,9	1,7
min.	0,1	0,4	0,1	0,6	0,0	0,2	0,1	0,4
max.	11,6	14,8	14,7	9,7	18,6	22,6	18,5	7,7
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	0,4	1,0	1,6	0,5	1,0	1,4	2,9	1,5
hajonta	0,5	1,0	1,4	0,5	0,8	1,8	2,4	1,6
min.	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1
max.	1,9	3,6	4,2	1,8	3,0	5,7	8,4	6,1
kierous								
ka. (mm)	4,1	6,2	3,1	3,9	4,9	4,4	3,3	2,7
hajonta	3,9	4,7	4,2	3,1	4,4	5,7	4,9	2,0
min.	0,0	0,1	0,4	-0,2	0,0	-0,3	0,3	0,2
max.	14,7	15,0	15,7	9,3	13,0	18,8	17,2	7,8
asiakas mit.								
ka. (mm)	10,9	13,8	9,2	11,8	14,8	12,0	10,1	9,9
hajonta	7,4	10,2	7,4	4,3	8,7	8,6	8,2	4,9
min.	0,0	6,8	3,8	5,5	2,9	4,6	0,0	6,0
max.	21,8	33,3	23,6	16,7	28,3	27,7	22,0	19,3

LIITE 5

Liitteessä 5 on esitetty koelevyjen (12 mm) käyritystulokset kuuden viikon oikomisen jälkeen. Tuloksissa on ilmoitettu käyryys levyn leveys- ja pituussuunnassa, kierous sekä asiakasmittaus. Tuloksille on laskettu myös hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot.								
	N	HY	HU	S	KL	KP	J	SK
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	1,2	0,9	0,3	0,8	1,8	1,2	0,9	0,6
hajonta	1,9	1,2	0,8	2,4	1,6	1,6	2,1	1,8
min.	0,1	0,3	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0
max.	6,2	4,2	2,0	7,0	7,2	5,6	7,2	5,4
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	0,6	0,4	0,6	0,4	0,4	1,8	0,7	0,7
hajonta	0,7	0,6	0,6	0,4	0,3	1,1	0,7	1,0
min.	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,0	0,1
max.	2,0	1,6	2,0	1,5	1,2	4,4	2,6	3,2
kierous								
ka. (mm)	2,9	2,7	1,0	1,2	3,4	3,9	2,0	0,9
hajonta	2,2	1,7	0,9	1,7	2,6	2,5	2,0	1,6
min.	-0,2	0,1	-0,2	-0,1	0,8	0,4	-0,2	-0,2
max.	7,3	5,2	3,0	5,5	9,3	8,6	6,7	4,4
asiakas mit.								
ka. (mm)	5,5	7,0	1,8	4,0	9,2	10,8	6,3	3,6
hajonta	3,5	2,6	2,0	2,8	2,9	2,8	3,0	3,4
min.	0,0	4,1	0,0	1,0	6,2	7,3	1,0	0,0
max.	9,8	11,0	5,0	8,2	13,8	13,7	9,0	8,0
	U	INT	OHU	18	CO	WF	WW	DB
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	1,7	1,4	1,0	1,6	1,5	1,6	2,5	0,9
hajonta	2,4	3,0	2,8	2,7	3,5	4,8	5,4	1,5
min.	0,2	0,7	0,1	0,5	0,0	0,1	0,2	0,0
max.	8,3	11,0	9,7	7,8	12,6	15,7	17,1	5,8
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	0,5	0,6	1,3	0,5	0,7	1,1	1,9	1,1
hajonta	0,7	0,8	1,0	0,4	0,6	1,6	1,8	1,2
min.	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,3
max.	2,6	2,4	3,5	1,4	1,9	4,8	5,9	4,9
kierous								
ka. (mm)	2,5	4,4	1,8	2,7	2,8	3,0	2,7	2,0
hajonta	2,7	4,0	2,3	2,4	2,6	3,9	4,6	1,4
min.	-0,1	0,0	0,6	-0,2	-0,3	-0,3	0,2	-0,2
max.	9,9	14,2	9,0	7,2	7,9	12,1	15,9	5,3
asiakas mit.								
ka. (mm)	9,2	5,2	6,6	8,9	9,1	8,9	12,3	7,8
hajonta	5,1	2,2	5,0	2,5	7,0	5,6	11,0	4,1
min.	0,0	2,0	1,8	6,6	0,0	2,8	0,0	2,8
max.	15,3	8,9	16,0	13,6	19,3	18,6	26,0	15,0

LIITE 6

Liitteessä 6 on esitetty koelevyjen (12 mm) paloittelukokeen käyritystulokset.					
Tuloksissa on ilmoitettu käyryys levyn leveys- ja pituussuunnassa, kierous					
sekä asiakasmittaus. Tuloksille on laskettu myös hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot. Lisäksi on laskettu paloittelun vaikutus (%) tuloksiin. Paloittelulevy-					
jen tuloksia on verrattu alkuperäisen levykoon tuloksiin.					
	levykoot			muutos %	
	122 x 244	61 x 244	122 x 122	61 x 244	122 x 122
käyryys lev.					
ka. (mm/m)	2,0	1,1	3,0	-45,0	50,0
hajonta	4,7	2,9	2,3		
min.	0,0	0,0	0,7		
max.	20,5	9,8	9,5		
käyryys pit.					
ka. (mm/m)	0,9	0,5	1,3	-44,4	44,4
hajonta	0,8	0,2	1,2		
min.	0,1	0,0	0,1		
max.	2,8	0,9	4,9		
kierous					
ka. (mm)	3,4	2,1	1,1	-38,2	-67,6
hajonta	3,8	2,7	1,5		
min.	-0,1	-0,2	-0,2		
max.	13,1	8,8	4,9		
asiakas mit.					
ka. (mm)	11,2	6,7	8,6	-40,2	-23,2
hajonta	7,5	6,0	5,0		
min.	3,9	2,1	0,9		
max.	25,8	21,6	17,0		

LIITE 7

Liitteessä 7 on esitetty koelevyjen käyritystulokset kahden viikon								
tasaannutuksen jälkeen (RH 50 %). Tuloksissa on ilmoitettu käyryys levyn								
leveys- ja pituus suunnassa, kierous sekä asiakasmittaus. Tuloksille on laskettu								
myös hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot.								
	N	HY	HU	S	KL	KP	J	SK
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	0,9	0,4	0,4	0,7	3,0	4,5	0,9	0,6
hajonta	1,9	0,9	1,3	1,4	4,4	9,6	1,9	0,8
min.	0,2	0,0	0,0	0,3	0,4	0,2	0,1	0,3
max.	6,3	3,3	5,5	5,7	15,4	27,2	7,5	3,0
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	0,6	0,4	0,8	0,7	0,8	3,8	0,7	0,7
hajonta	0,6	0,4	0,7	0,8	0,7	1,6	0,6	0,6
min.	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,9	0,1	0,1
max.	2,3	1,2	3,0	2,8	2,3	6,8	2,2	2,0
kierous								
ka. (mm)	1,7	1,1	1,9	3,1	8,7	11,6	2,4	1,1
hajonta	1,6	1,0	1,4	2,0	6,2	10,7	2,0	0,9
min.	-0,6	-0,7	-0,9	-1,2	-0,7	0,3	-1,0	-0,2
max.	4,5	2,2	4,0	4,8	17,5	38,0	5,6	2,7
asiakas mit.								
ka. (mm)	7,5	4,1	6,4	7,8	19,7	26,6	7,5	4,9
hajonta	4,4	3,5	3,8	4,2	11,1	15,0	3,4	1,9
min.	3,0	0,0	4,0	3,6	6,5	12,3	2,9	2,6
max.	13,7	8,3	14,0	15,5	33,3	55,1	12,3	8,2
	U	INT	OHU	18				
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	1,4	1,9	0,5	1,2				
hajonta	3,3	3,3	1,1	1,4				
min.	0,1	0,2	0,0	0,8				
max.	10,5	13,2	4,1	5,8				
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	0,5	1,3	0,7	0,9				
hajonta	0,5	1,0	0,6	0,6				
min.	0,0	0,1	0,1	0,2				
max.	1,8	3,5	2,1	2,3				
kierous								
ka. (mm)	2,2	6,0	1,3	4,9				
hajonta	3,3	4,3	1,1	2,9				
min.	-1,1	-0,1	-0,7	-0,8				
max.	10,1	12,2	2,3	8,8				
asiakas mit.								
ka. (mm)	9,0	16,4	4,2	10,1				
hajonta	6,5	7,1	2,2	2,8				
min.	1,5	5,4	0,0	6,6				
max.	18,8	24,9	6,0	14,7				

LIITE 8

Liitteessä 8 on esitetty koelevyjen käyristymistulokset kahden viikon								
tasaannutuksen jälkeen (RH 80 %). Tuloksissa on ilmoitettu käyryys levyn								
leveys- ja pituussuunnassa, kierous sekä asiakasmittaus. Tuloksille on laskettu								
myös hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot.								
	N	HY	HU	S	KL	KP	J	SK
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	0,4	1,0	1,0	1,1	1,8	1,1	1,2	1,1
hajonta	0,6	1,3	1,6	1,9	1,6	1,8	3,9	1,8
min.	0,1	0,2	0,5	0,0	0,5	0,5	0,2	0,2
max.	2,6	5,1	5,6	6,4	7,5	6,9	15,0	5,9
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	0,7	1,0	1,5	1,3	0,7	2,9	1,4	1,3
hajonta	0,6	1,0	1,0	1,0	0,5	1,3	1,0	1,0
min.	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	0,0
max.	2,2	3,8	3,4	3,6	1,7	5,6	3,1	4,6
kierous								
ka. (mm)	1,0	2,7	3,9	5,8	3,7	5,0	4,0	3,5
hajonta	0,9	1,6	2,8	3,5	2,6	3,4	3,4	2,1
min.	-0,5	-0,1	-0,7	-0,9	0,5	-0,3	-0,4	0,1
max.	2,4	4,4	6,6	8,6	7,8	9,2	11,0	6,2
asiakas mit.								
ka. (mm)	3,3	7,1	9,2	10,5	10,7	11,5	10,9	8,8
hajonta	2,8	1,3	3,6	5,3	2,9	5,8	6,8	4,8
min.	0,1	5,3	3,0	5,3	6,6	0,0	2,9	2,8
max.	7,3	9,1	13,6	19,0	14,9	15,9	23,4	14,7
	U	INT	OHU	18				
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	1,2	1,0	0,5	1,3				
hajonta	2,3	1,8	1,0	1,3				
min.	0,1	0,1	0,1	0,7				
max.	8,9	6,5	3,5	5,2				
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	1,4	1,6	0,7	0,8				
hajonta	1,4	1,5	0,8	0,8				
min.	0,1	0,1	0,1	0,1				
max.	5,8	5,0	2,7	2,8				
kierous								
ka. (mm)	5,5	4,7	1,8	5,2				
hajonta	3,5	4,0	1,0	3,1				
min.	-1,0	-0,3	-0,3	-0,3				
max.	10,9	12,9	2,4	8,1				
asiakas mit.								
ka. (mm)	11,9	10,9	5,9	9,6				
hajonta	5,5	5,3	1,8	3,0				
min.	7,4	4,9	2,9	4,8				
max.	21,9	19,7	7,8	14,2				

LIITE 9

Liitteessä 9 on esitetty koelevyjen käyristymistulokset kolmen viikon								
tasaannutuksen jälkeen (RH 30 %). Tuloksissa on ilmoitettu käyryys levyn								
leveys- ja pituussuunnassa, kierous sekä asiakasmittaus. Tuloksille on laskettu								
myös hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot.								
	N	HY	HU	S	KL	KP	J	SK
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	2,7	1,8	2,6	3,6	6,4	10,8	3,9	2,2
hajonta	4,9	4,7	5,2	6,1	9,7	20,7	6,7	2,5
min.	0,3	0,2	0,1	0,0	0,3	0,7	1,3	1,4
max.	14,3	16,9	16,7	21,3	29,8	55,6	24,3	9,9
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	1,2	1,0	1,4	1,8	1,0	6,1	0,9	1,2
hajonta	0,9	0,9	1,8	2,1	1,0	2,6	0,7	1,2
min.	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1,3	0,0	0,2
max.	3,2	2,7	6,8	8,4	3,8	11,4	2,3	3,9
kierous								
ka. (mm)	5,1	4,2	9,9	12,9	16,5	26,4	6,4	4,8
hajonta	4,5	4,0	7,9	9,4	12,7	23,1	7,0	3,2
min.	0,1	-0,8	-0,3	-0,1	-0,3	0,8	0,6	0,8
max.	12,0	13,3	24,4	25,0	40,8	80,1	21,9	9,7
asiakas mit.								
ka. (mm)	18,6	13,3	20,3	26,2	41,4	56,3	19,4	10,7
hajonta	9,2	12,8	13,2	16,2	27,0	32,7	10,6	4,0
min.	5,1	2,0	6,1	6,8	7,0	25,3	7,9	4,5
max.	30,8	33,3	40,9	51,0	79,5	117,9	33,2	16,6
	U	INT	OHU	1 8				
käyryys lev.								
ka. (mm/m)	4,7	4,6	1,4	3,7				
hajonta	9,7	8,4	2,0	7,0				
min.	0,3	0,6	1,2	1,5				
max.	27,4	27,6	8,0	31,5				
käyryys pit.								
ka. (mm/m)	1,3	2,2	1,8	1,3				
hajonta	1,5	1,8	1,5	1,0				
min.	0,2	0,2	0,2	0,4				
max.	5,4	5,4	5,8	3,5				
kierous								
ka. (mm)	10,3	13,6	3,6	10,0				
hajonta	10,3	11,0	2,5	6,3				
min.	-1,1	-0,6	-0,5	0,1				
max.	32,4	34,4	8,4	21,7				
asiakas mit.								
ka. (mm)	26,9	32,2	10,6	21,7				
hajonta	14,0	18,1	1,9	6,3				
min.	11,9	11,8	7,9	15,3				
max.	49,6	53,3	13,7	33,7				

LIITE 10

Liitteessä 10 on esitetty laboratoriokeiden (RH 50 %, RH 80 % ja RH 30 %) kosteusnäytelevyjen kosteuskäykämat.							
	8,6	8,4		8,6		8,6	8,6
				8,9			
	8,7	8,5				8,6	8,7
				8,6			
	8,6	8,3		8,5		8,4	8,5
RH 50 % tasaantumiskosteus (12 mm BB koivu WBP)							
kosteusnäytepalojen sijainti levyssä (ka. 8,6 %)							
	12,7	12,5		12,7		13,2	13,5
				12,4			
	11,9	11,7				13,3	13,9
				12,0			
	12,5	12,5		12,6		13,9	14,4
80 % tasaantumiskosteus (12 mm BB koivu WBP)							
kosteusnäytepalojen sijainti levyssä (ka. 12,9 %)							
	7,4	7,3		7,1		7,0	7,0
				7,3			
	7,7	7,6				7,3	7,1
				8,2			
	7,8	7,7		7,8		7,1	7,0
30 % tasaantumiskosteus (12 mm BB koivu WBP)							
kosteusnäytepalojen sijainti levyssä (7,4 %)							

LIITE 11/1

Liitteessä 11 on esitetty täydennyskokeiden koelevyihin (18 mm) käytettyjen viilujen kosteudet. Koelevyn S viilut otettiin samasta pinkasta kuin koelevyn N.					
koelevy	viilu	paino 1 (g)	paino 2 (g)	kosteus (%)	ka. (%)
N	BB	9,99	9,81	1,83	
N	BB	9,02	8,85	1,92	
N	BB	9,87	9,67	2,07	1,94
N	PK	10,02	9,68	3,51	
N	PK	8,63	8,33	3,60	
N	PK	10,14	9,83	3,15	3,42
N	HK	11,57	11,29	2,48	
N	HK	11,44	11,20	2,14	
N	HK	9,40	9,20	2,17	2,27
HU	BB	6,45	6,22	3,70	
HU	BB	8,22	7,93	3,66	
HU	BB	6,87	6,65	3,31	3,55
HU	PK	5,58	5,45	2,39	
HU	PK	9,78	9,59	1,98	
HU	PK	6,52	6,37	2,35	2,24
HU	HK	8,94	8,58	4,20	
HU	HK	5,97	5,74	4,01	
HU	HK	4,87	4,66	4,51	4,24
SK	BB	11,40	11,09	2,80	
SK	BB	10,81	10,50	2,95	
SK	BB	13,95	13,56	2,88	2,87
SK	PK	6,57	6,40	2,66	
SK	PK	10,90	10,64	2,44	
SK	PK	17,59	17,17	2,45	2,52
SK	HK	13,28	13,01	2,08	
SK	HK	8,96	8,74	2,52	
SK	HK	9,67	9,43	2,55	2,38

LIITE 11/2

koelevy	viilu	paino 1 (g)	paino 2 (g)	kosteus (%)	ka. (%)
OHU	BB	7,34	7,16	2,51	
OHU	BB	10,72	10,45	2,58	
OHU	BB	8,12	7,94	2,27	2,45
OHU	PK	9,16	8,79	4,21	
OHU	PK	6,99	6,72	4,02	
OHU	PK	10,38	10,01	3,70	3,97
OHU	HK	12,78	12,48	2,40	
OHU	HK	8,39	8,15	2,94	
OHU	HK	13,34	12,99	2,69	2,68

LIITE 12

Liitteessä 12 on esitetty koelevyjen (18 mm) käyristymistulokset kahden viikon tasaannutuksen jälkeen (täydennyskoe). Tuloksissa on ilmoitettu käyryys levyn leveys- ja pituussuunnassa, kierous sekä asiakasmittaus. Tuloksille on laskettu myös hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot.							
	N	HU	S	SK	OHU		
käyryys lev.							
ka. (mm/m)	1,0	1,3	2,1	1,4	1,6		
hajonta	2,0	2,8	3,1	2,8	2,6		
min.	0,0	0,1	0,4	0,2	0,2		
max.	6,4	10,4	10,7	11,2	9,1		
käyryys pit.							
ka. (mm/m)	0,7	0,7	1,0	0,6	0,9		
hajonta	0,7	0,7	1,0	0,6	1,0		
min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
max.	2,5	2,4	3,9	2,6	4,2		
kierous							
ka. (mm)	3,2	4,2	6,2	4,5	3,6		
hajonta	2,5	3,3	4,4	3,9	3,1		
min.	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1		
max.	8,5	11,2	13,5	15,1	11,9		
asiakas mit.							
ka. (mm)	7,2	8,0	13,4	8,7	9,5		
hajonta	4,8	5,4	5,8	7,3	5,3		
min.	2,0	1,1	3,7	1,0	1,7		
max.	15,4	17,8	21,3	26,0	18,3		

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puun mekaanisen teknologian
laboratorion käsikirjasto